

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

ОКР- магістр

Галузь знань: 13

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

на тему: «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі
«корпус» з використанням верстату HAAS VF-3»

Виконав студент групи ПМТмз-21-1 _____ Євгеній ГРАБЧУК

Керівник дипломної роботи: _____ к.т.н., доцент Микола КОСПОК

До захисту допускаю:

Зав. кафедри _____ к.т.н., доцент Віталій ТКАЧУК

20 грудня 2022 р.

Хмельницький – 2022

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Магістр Грабчук Євген Ігорович

Тема затверджена наказом ректора № 83 від 1 липня 2022 р.

Тема роботи: *«Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус» з використанням верстату HAAS VF-3»*

План роботи і терміни подання окремих розділів:

Розділ I - 15.10.2022

Розділ II - 30.10.2022

Розділ III - 15.11.2022

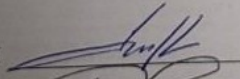
Розділ IV - 30.11.2022

Розділ V - 05.12.2022


Перелік графічних матеріалів: 1. Загальний розділ - 1 арк. ф.А1; 2. Креслення деталі «корпус» - 1,0 арк. ф.А1; 3. Графотехнологія - 1,0 арк. ф.А1; 4. Розрахунково-технологічна карта - 1 арк. ф.А2; 5. Пристрій верстатний для фрезерування деталі «корпус» - 1 арк. ф.А1; 6. Пристрій верстатний для фрезерування деталі «корпус» - 1 арк. ф.А1; 7. Пристрій контрольно-вимірювальний - 1 арк. ф.А1; 8. Фреза кінцева - 1 арк. ф.А2; 9. Дослідницький розділ - 1 арк. ф.А1.

Термін подання закінченої дипломної роботи на кафедру 05.12.2022

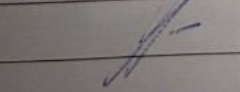
Зав. кафедри

 Віталій ТКАЧУК

Керівник

 Микола КОСПОК

Магістр

 Євгеній ГРАБЧУК

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус» з використанням верстату HAAS VF-3»

Автор: Грабчук Є.І.; Керівник: Косіюк М.М.

Обсяг пояснювальної записки 104 стор. Графічна частина 8 арк.ф.А1.

В загальному розділі дипломної роботи проаналізовано призначення, конструкцію та технічні вимоги на об'єкт виробництва. Визначено тип виробництва та ступінь технологічності деталі «корпус». Проаналізовано сучасні досягнення та шляхи удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус», визначено перспективне обладнання з ЧПК фірми HAAS (США) та сучасний різальний інструмент.

В технологічному розділі проведено обґрунтування технологічних параметрів процесу механічної обробки деталі «корпус», вибрано обладнання та різальний інструмент, розраховано припуски на обробку, розраховано режими різання. На основі проведених розрахунків, розроблено вдосконалений технологічний процес виготовлення деталі «корпус» із застосуванням верстату з ЧПК фірми HAAS VF-3.

В конструкторському розділі виконано проектування технологічного оснащення. Розроблено конструкції пристосувань для виконання операції механічного оброблення на верстаті з ЧПК VF-3 та проведені необхідні розрахунки. Виконано проектування контрольного пристрою та проведено розрахунок його на точність. Спроектовано різальний інструмент - фрезу кінцеву збірну із пластинами твердого сплаву.

В дослідному розділі приведені результати інженерних досліджень з використанням COLIDWORKS Simulation. Встановлено, що деталь «корпус» має достатню жорсткість. Вона буде працювати при робочому навантаженні без значних деформацій елементів деталі, не потребує заміни матеріалу на більш міцний, а також уточнення окремих розмірів та додаткових конструкторських рішень.

В розділі «Охорона праці» приведено класифікацію та призначення засобів захисту. Розглянуті питання техніки безпеки при налагоджуванні та експлуатації верстатів з ЧПК мод. VF-3 виробництва групи компаній HAAS. Розроблені заходи для забезпечення безпечних умов праці та електробезпеки на дільниці. Виконано розрахунок заземлення верстатів з ЧПК. Визначено заходи у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: *технологічний процес, деталь, операція, технологічність, верстат, припуск, режими різання, норми часу, пристосування, інструмент.*

Грабчук Є.І.
20.12.22р.

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу студента гр. ПМТмз-21-1 Євгенія ГРАБЧУКА.

Тема дипломної роботи: «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус» з використанням верстату HAAS VF-3»

1. Актуальність і значення теми

Відновлення машинобудівного виробництва України потребує глибокого аналізу сучасних тенденцій розвитку світового машинобудівного виробництва. За останні роки відбулися значні зміни в організації та функціонуванні машинобудівного виробництва передових індустріальних держав, що, в першу чергу, характеризується значним розширенням використання верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі, вдосконаленням технологічних процесів виготовлення інструментальних матеріалів та створенням нових інструментальних матеріалів з поліпшеними фізико-механічними характеристиками, розробленням нових конструкцій різальних інструментів та формуванням нових технологічних схем оброблення.

Актуальність дипломної роботи не викликає сумніву.

2. Оцінка якості та достовірності проведених досліджень

Структура роботи, її зміст, показують, що автор плідно попрацював над удосконалення технологічного процесу механічного оброблення деталі «корпус». Достовірність отриманих результатів не викликає сумніву, оскільки виконання дипломної роботи базувалося на науково обґрунтованих методиках із застосуванням сучасного комп'ютерного забезпечення. Позитивними рисами дипломної роботи є системність та послідовність викладення матеріалу.

3. Оцінка запропонованих заходів та пропозицій, практичної цінності та ефективності

Дипломна робота спрямована на удосконалення технології виготовлення деталі «корпус» з використанням верстату HAAS VF-3.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні ефективного технологічного процесу механічного оброблення деталі «корпус», який може бути впроваджений на базовому підприємстві. Це сприятиме зниженню собівартості й зменшенню витрат праці на її виготовлення.

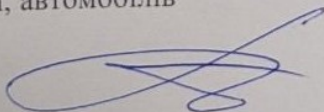
4. Загальний висновок та оцінка

Вагомих недоліків в дипломній роботі не виявлено.

Дипломна робота Грабчука Є.І. виконана на високому професійному рівні, з використанням сучасних комп'ютерних технологій. За актуальністю, новизною та обсягом проведеної роботи заслуговує на оцінку «відмінно».

Рецензент:

к.т.н., доцент кафедри трибології, автомобілів
та матеріалознавства



Бабак О.П.

07.12.2022 року.

Завідувачу кафедри технології машинобудування
Віталію ТКАЧУКУ

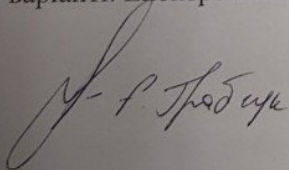
студента групи ПМТмз -21-1
Євгенія ГРАБЧУКА

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.



06.12.22р.

РІШЕННЯ
експертної комісії по кафедрі технології машинобудування
про допуск кваліфікаційної роботи до захисту

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус» з використанням верстату HAAS VF-3».

Автор: Грабчук Є.І.

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка. Технології машинобудування системи комп'ютерного проектування процесів.

Керівник дипломної роботи: Косіюк М.М.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

Висновок	Позначка про відповідність
Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Текст вважається оригінальним та не потребує додаткових дій щодо запобігання неправомірним запозиченням. Є співпадіння із титульним листом, завданням, змістом списком використаних джерел. Також є співпадіння із технічними термінами при застосуванні стандартних методик розрахунків, що не є плагіатом. Виявлені запозичення, які розміщені в розділі охорони праці, не є плагіатом. Вони не описують безпосереднє авторське дослідження. Робота приймається до захисту.	Рівень унікальності тексту високий

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Ткачук В.П

Ткачук В.П

Косіюк М.М.

ЗМІСТ

	ВСТУП	8
1	ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1	Стан питання та визначення задач дипломного проектування	9
1.2	Аналіз об'єкту виробництва	9
1.2.1	Характеристика матеріалу деталі	10
1.3	Аналіз технологічності деталі	14
1.3.1	Якісна оцінка технологічності конструкції деталі	14
1.3.2	Кількісна оцінка технологічності	16
1.4	Визначення типу виробництва	17
1.5	Шляхи удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус»	19
1.5.1	Сучасний інструмент для фрезерування та свердлування на багатоцільових верстатах з ЧПК	19
1.5.2	Особливості оброблення деталей на багатоцільових верстатах з ЧПК	22
1.5.3	Технічні характеристики верстата HAAS VF-1	23
1.6	Висновок	25
2	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	26
2.1	Аналіз існуючого технологічного процесу	26
2.2	Вибір заготовки та методу її отримання	28
2.3	Вибір технологічних баз	29
2.4	Вибір технологічного маршруту оброблення деталі	30
2.5	Сучасні закордонні металорізальні інструменти	33
2.6	Розрахунок та вибір режимів різання	35
2.6.1	Аналітичний розрахунок режимів різання на свердлування отвору $\varnothing 25$ мм	36
2.6.2	Розрахунок режимів різання при фрезеруванні торця	38

2.6.3	Вибір режимів різання табличним методом	40
2.7	Аналітичний розрахунок припусків	41
2.8	Розробка і редагування керуючих програм для механічного оброблення деталі «корпус»	46
2.8.1	Розроблення керуючих програм для оброблення деталі «корпус»	48
2.8.2	Редагування керуючих програм для верстатів з ЧПК	50
2.9	Висновок	52
3	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	53
3.1	Технологічне оснащення для верстатів з ЧПК	53
3.1.1	Універсально-збірні пристрої	55
3.2	Проектування верстатного пристрою	56
3.2.1	Вибір схеми базування та способу закріплення деталі в пристрої	57
3.2.2	Розрахунок сили затиску	57
3.2.3	Розрахунок елементів пристрою на міцність	60
3.1.4	Розрахунок пристрою на точність	60
3.1.5	Розробка технічних умов на пристрій, компонування та опис його роботи	61
3.3	Розрахунок і проектування контрольно-вимірювального пристрою для контролю паралельності площин	62
3.3.1	Технічні умови та вимоги креслення, які підлягають контролю	62
3.3.2	Вибір схеми вимірювання	62
3.3.3	Розрахунок пристрою на точність	63
3.3.4	Опис конструкції і роботи пристрою	63
3.4	Проектування різального інструменту	64
3.4.1	Аналіз конструкцій фрез кінцевих для оброблення заданого типу деталей	64
3.4.2	Проектування збірної фрези з пластинами твердого сплаву	72
3.5	Висновок	73

4	ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	74
4.1	Система автоматизованого проектування COLIDWORKS	74
4.2	Аналіз конструкції деталі «корпус» у середовищі SolidWorks в модулі Simulation	75
4.2.1	Розбиття моделі деталі «корпус» на скінчені елементи	76
4.2.2	Визначення переміщень	78
4.2.3	Розрахунок на міцність	79
4.3	Висновок	81
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	82
5.1	Класифікація та призначення засобів захисту	82
5.2	Техніка безпеки при налагоджуванні, експлуатації верстатів з ЧПК	84
5.3	Розрахунок заземлення верстатів з ЧПК	87
5.4	Безпека в надзвичайних ситуаціях	89
5.5	Висновок	90
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	91
	ЛІТЕРАТУРА	92
	ДОДАТКИ	
	Додаток А. Фрагменти керуючих програм для верстату з ЧПК	
	Додаток Б. Документація до технологічного процесу механічного оброблення деталі «корпус»	
	Додаток В. Специфікації до складальних креслень	

ВСТУП

Машинобудування є важливою галуззю промисловості народного господарства країни. Її продукція – машини різного призначення поставляються всім галузям народного господарства. Рівень розвитку машинобудування - один з найбільш значних факторів технічного прогресу, так як корінні перетворення в будь-якій сфері виробництва можливі лише в результаті створення більш досконалих машин і розробки принципово нових технологій. Інтенсифікація технологічних процесів і підвищення ефективності технологічного обладнання в машинобудуванні є одним із пріоритетних завдань, спрямованих на пошук оптимальних технічних рішень. Це підтверджується тим, що в умовах жорсткої конкуренції, стрімкого розвитку та використання новітніх технологій, машинобудівна галузь на підприємствах усього світу проводить постійний пошук впровадження нових та більш ефективних технологічних процесів [1].

Технічний прогрес постійно потребує нових видів продукції в різних сферах виробництва. В свою чергу, виробництво намагається зменшити витрати на виготовлення продукції не ризикуючи її якістю. І тут комплексна механізація та автоматизація технологічних процесів в машинобудуванні є певним етапом розвитку технології виробництва, яку потрібно розглядати як вищу форму механізації праці, коли робітник звільнюється від прямого контакту на предмет праці і за ним залишаються лише функції технологічної підготовки виробництва та керування машинами, що здійснюють ці технологічні процеси.

В умовах жорсткої конкуренції, стрімкого розвитку та використання новітніх технологій, машинобудівна галузь проводить постійний пошук впровадження нових та більш ефективних технологічних процесів.

Вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус», яке полягає у використанні багатоцільового верстату HAAS VF-3, нових сучасних високоякісних інструментів та технологічного оснащення є актуальним технічним завданням. Це дозволить значно скоротити час оброблення деталі, зменшити собівартість та підвищити її точність.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Стан питання та визначення задач дипломного проектування

Державне підприємство «Красилівський агрегатний завод», виробляє різноманітну продукцію, зокрема газові, твердопаливні, електричні котли; опалювальні конвектори; сонячні системи для підігріву води; стабілізатори тиску газу; товари народного споживання, а також вироби, які використовуються в оборонній сфері. При виготовленні продукції підприємство застосовує різноманітні технологічні процеси.

В дипломній роботі потрібно удосконалити технологічний процес оброблення деталі «Корпус 7X8.034.101» (далі «корпус») із застосуванням металорізальних верстатів з ЧПК фірми HAAS; установити порядок раціонального виконання технологічних переходів; спроектувати основні операції оброблення на верстатах з ЧПК.

Основними даними для розроблення являються:

- 1) робоче креслення деталі «корпус»;
- 2) технічні умови на деталь «корпус»;
- 3) програма випуску деталей «корпус» в рік - 1000 шт.;
- 4) ефективний річний фонд часу роботи обладнання - 4015 год.;
- 5) дійсний річний фонд часу роботи виробничника - 1860 год.

1.2 Аналіз об'єкту виробництва

В графічній частині дипломної роботи (ДРМ.ФІМ.22.01.01.00; ДРМ.ФІМ.22.01.02.00) представлено креслення деталі "корпус" та її 3D модель. З точки зору аналізу по геометричній формі усі поверхні деталі «корпус» є простими і являють собою площини та внутрішні циліндричні поверхні. Це є

перевагою, оскільки точність та стабільність оброблення в значній мірі залежить від простоти конструктивних форм. Розміри на кресленні деталі проставлені так, що дозволяють використовувати суміщення баз при її виготовленні. Це призводить до більшої точності виготовлення деталі за рахунок виключення похибок установки та базування. На рис.1.1 представлена 3D модель деталі «корпус».

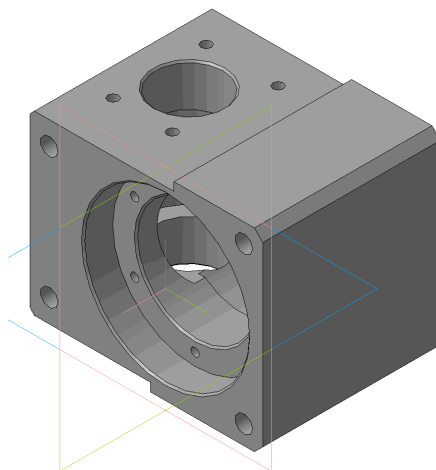


Рисунок 1.1 - 3D модель деталі «корпус»

Значення допустимих та граничних відхилень розмірів та шорсткості проставлені тільки на робочі поверхні, а на невідповідальні поверхні проставлені невисокі умови. Оскільки занадто високі умови до точності розмірів та шорсткості поверхонь призводять до збільшення трудомісткості та до підвищення собівартості виготовлення деталі «корпус».

1.2.1 Характеристика матеріалу деталі

Сплав АК6 ГОСТ 21488-97 застосовується: для виготовлення пресованих прутків; штампованих і кованих деталей складної форми та середньої міцності авіаційної промисловості; пресованих великогабаритних труб.

Алюмінієвий сплав - це сплав, у якому алюміній (Al) є переважаючим металом. Типовими легуючими елементами є мідь, магній, марганець, кремній, олово та цинк. Існують дві основні класифікації, а саме ливарні сплави та сплави, що деформуються, обидві з яких далі поділяються на категорії, що піддаються

термічній обробці та не піддаються термічній обробці. Близько 85% алюмінію використовується для виготовлення кованих виробів, наприклад, прокату, фольги та екструзії. Литі алюмінієві сплави дають рентабельні вироби завдяки низькій температурі плавлення, хоча, як правило, вони мають нижчу міцність на розрив, ніж деформовані сплави. Найважливішою системою литого алюмінієвого сплаву є Al-Si, де високий вміст кремнію (4,0-13%) сприяє забезпеченню хороших ливарних характеристик. Алюмінієві сплави широко використовуються в інженерних конструкціях і компонентах, де потрібна мала вага або стійкість до корозії [2].

Алюмінієвий сплав АК6 відносять до сплавів системи Al-Cu-Mg-Si. Даний сплав має високі технологічні властивості при безперервному литті, гарячій обробці тиском (вільне кування, штампування, пресування). Сплав добре деформується у гарячому та холодному станах. Температурний інтервал гарячої деформації становить 420-470 °С. Сплав АК6 може успішно деформуватися і у більш високому температурному інтервалі. Деформація сплаву при 505-525 °С безпосередньою загартуванням у воді і наступним старінням показала, що ця так звана високотемпературна механотермічна обробка призводить до деякого підвищення міцності і ударної в'язкості сплаву.

У мікроструктурі спостерігається фрагментація всередині зерен, а також зменшується глибина обідку з рекристалізованою структурою. Така обробка є перспективним технологічним процесом [3]. Хімічний склад алюмінієвого сплаву АК6 ГОСТ 4784-97 представлений в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад алюмінієвого сплаву АК6 у %

Fe, залізо	Si, кремній	Mn, марганець	Ni, нікель	Ti, титан	Al, алюміній
до 0,7	0,7 - 1,2	0,4 - 0,8	до 0,1	до 0,1	93,3 - 96,7
Cu, мідь	Mg, магній	Zn, цинк	Суміші		
1,8 - 2,6	0,4 - 0,8	до 0,3	інші, кожна 0,05; всього 0,1		

Алюмінієвий сплав АК6 застосовується для відповідальних силових деталей авіаційної техніки тривалого ресурсу, зокрема у крилах пасажирських літаків. Сплави типу АК6 завдяки високій пластичності в гарячому стані застосовуються для виготовлення складних штампувань: крильчатки компресора, крильчатки вентилятора для компресорів реактивних двигунів, корпусних деталей агрегатів. Сплав не захищений при температурах глибокого холоду, і його можна успішно використовувати як зварюваний сплав для деталей, що працюють в умовах криогенних температур. Широко застосовують у промисловості, будівництві, транспортному машинобудуванні, авіації для виготовлення штампованих та кованих деталей складної форми, для навантажених деталей типу рам, фітингів та ін. Сплав АК6 схильний до корозії під напругою і чутливий до міжкристалічної корозії. Деталі слід анодувати та захищати лакофарбовими покриттями [2, 3]. Механічні властивості алюмінієвого сплаву АК6 ГОСТ 4784-97 представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Механічні властивості алюмінієвого сплаву АК6

Прокат	Товщина або діаметр, мм	E, ГПа	σ_B , (МПа)	$\sigma_{0,2}$, (МПа)	δ_5 , (%)	ψ , %	$\sigma_{сж}$, МПа	KCU, (кДж/м ²)	KCV, (кДж/м ²)
Штамповка загартована і штучно зістарена	більше 30 кг	72	повздожж 447	378	12,5			0,19	1,1
		72	поперек 427	357	11,2			0,14	1,1
		72	по висоті 400		8,5			0,08	1,1

Короткі позначення: E - модуль пружності нормальний, ГПа; σ_B - межа міцності при розтягуванні, МПа; $\sigma_{0,2}$ - межа плинності умовна, МПа; δ_5 - відносне подовження після розриву, %; KCU - ударна в'язкість, визначена на зразку з концентраторами відповідно до видів U, (кДж/м²); KCV - ударна в'язкість, визначена на зразку з концентраторами відповідно до видів V, (кДж/м²).

Питома вага: 2750 кг/м³. Твердість матеріалу: HB 10 -1 = 95 - 100 МПа.

Термообробка: загартування всіх видів прокату при 505-525 ° С, старіння при 20 ° С понад 96 годин, при 160-165 ° С 10-15 годин.

Алюмінієві сплави загалом добре піддаються обробці різанням. На відміну від чистого алюмінію, алюмінієві сплави мають складну металургійну структуру. Саме це дає їм переваги при механічній обробці, порівняно з нелегованим алюмінієм. Різні компоненти, що входять до складу алюмінієвих сплавів, мають важливий вплив на характеристики, які забезпечують їхнє відношення до оброблення різанням. Неабразивні компоненти сплавів мають позитивний вплив, а нерозчинні абразивні компоненти шкідливо впливають на термін служби різального інструменту та якість обробленої поверхні. Компоненти, які є нерозчинними, але м'якими та неабразивними можуть бути корисними для механічної оброблення, оскільки вони сприяють ламанню стружки. Такі компоненти спеціально додають, наприклад, алюмінієві сплави для автоматичної оброблення різанням на високошвидкісних механообробних верстатах [3].

При обробці алюмінієвих заготовок на верстатах з ЧПК необхідно дотримуватися відповідних рекомендацій. Обробка металів є серйозним навантаженням на верстат, тому невірно розраховані швидкість, глибина різання, а також періодичність подачі матеріалу може призвести до поломки обладнання або псування виробу, що обробляється. Застосовувати фрези, покриті зносостійкими матеріалами (найчастіше твёрдосплавними). Застосовувати фрези невеликого діаметра. Це дозволяє збільшити кількість обертів за хвилину, підвищуючи продуктивність верстату. Вчасно проводити очищення робочого столу. Стружка, яка у великих кількостях виникає при обробці алюмінію, забивається в пази та отвори, що може призвести до поломки обладнання. Відстежувати глибину різання. Чим більша глибина різання, тим складніше витягувати стружку з борозн, що утворилися. Використовувати мастильні матеріали. Оптимальним є застосування мастило-охолодної рідини, яка подається до робочих частин верстата під тиском через розпилювач. Це дозволяє виключити налипання стружки на фрезу та не допустити перегріву інструменту. Слід уникати значного зменшення швидкості подачі матеріалу. Якщо вона буде надто низькою

- інструмент не різатиме, а зношуватиметься. У тому випадку, коли верстат не може використовувати шпindelь ХУ з нормальною швидкістю, слід застосовувати фрези, в яких скорочено число зубів.

Не потрібно програмувати верстат на роботу максимально можливої потужності. Це призведе до зниження точності оброблення та незадовільної якості поверхні виробу.

1.3 Аналіз технологічності деталі

1.3.1 Якісна оцінка технологічності конструкції деталі

Конструкція деталі «корпус» складається зі стандартних і уніфікованих конструктивних елементів, що не вимагають складної форми заготовки. В конструкції передбачені поверхні та отвори, які можна обробити стандартним інструментом (рис.1.2). Для оброблення деталі не потрібні складні спеціальні пристрої, спеціальні ріжучі і вимірювальні інструменти.

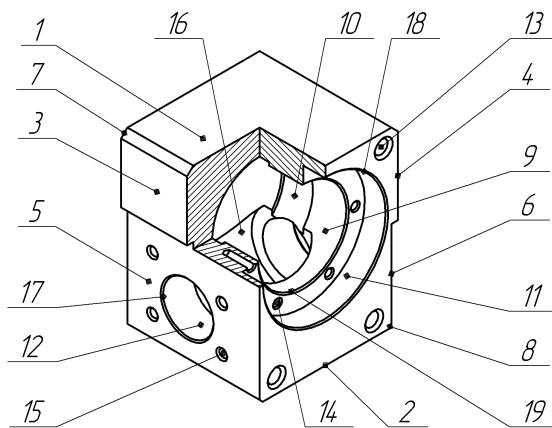


Рисунок 1.2 - Поверхні деталі

Самий високий квалітет точності розмірів деталі 7-й, отже по точності деталь теж технологічна. Виготовлення деталі не вимагає доводочних операцій, отже і по шорсткості, деталь технологічна.

Обробка деталі можлива із застосуванням універсальних верстатів або верстатів з ЧПУ, стандартного ріжучого інструменту і засобів вимірювання. Усі поверхні для оброблення доступні. По якій оцінці деталь може вважатися технологічною (табл.1.3).

Таблиця 1.3 - Технологічні характеристики окремих поверхонь деталі

№ поз.	Назва елемента	Квалітет точності	Шорсткість Ra, мкм	Призначення поверхні
1	Торцева поверхня	h12	6,3	Конструктивний елемент
2	Торцева поверхня	h12	6,3	Конструктивний елемент
3	Торцева поверхня	h12	6,3	Конструктивний елемент
4	Торцева поверхня	h12	6,3	Конструктивний елемент
5	Торцева поверхня (заниження)	h12	1,6; 6,3	Конструктивний елемент
6	Торцева поверхня (заниження)	h12	1,6; 6,3	Конструктивний елемент
7	Фаска 2x45°	h12	6,3	Допоміжна поверхня
8	Фаска 1x45°	h12	6,3	Допоміжна поверхня
9	Циліндрична поверхня	H7	0,4...0,8	Посадочна поверхня
10	Циліндрична поверхня	H12	6,3	Допоміжна поверхня
11	Циліндрична поверхня	H7	1,6	Посадочна поверхня
12	Циліндрична поверхня	H7	0,4...0,8	Посадочна поверхня
13	Різьбові отвори (8x) M5	6H	3,2	Конструктивний елемент
14	Різьбові отвори (6x) M2,5	6H	3,2	Конструктивний елемент
15	Різьбові отвори (8x) M3	6H	3,2	Конструктивний елемент
16	Циліндрична поверхня	H12	6,3	Допоміжна поверхня
17	Фаска (2x) 0,4x45°	h12	6,3	Допоміжна поверхня
18	Фаска 0,4x45°	h12	6,3	Допоміжна поверхня
19	Фаска (2x) 0,4x45°	h12	6,3	Допоміжна поверхня

1.3.2 Кількісна оцінка технологічності

Технологічність конструкції деталей оцінюється кількісно за допомогою системних показників, які обчислюються за такими формулами [8, 9]:

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_M = \frac{M_D}{M_3},$$

де M_D - маса деталі, $M_D = 0,157$ кг; $M_3 = 0,69$ кг - маса заготовки із прокату:

$$K_M = \frac{0.157}{0.69} = 0.23,$$

За значенням коефіцієнту використання матеріалу можна вважати деталь і заготовку технологічними.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{Tч} = 1 - \frac{1}{T_{cp}},$$

де T_{cp} - середній коефіцієнт точності обробки деталі,

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_{i_3}}$$

де T_i - квалітет точності обробки i -ї поверхні деталі; n_i - число поверхонь з однаковою точністю.

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_{i_3}} = \frac{12 \times 9 + 7 \times 3 + 6 \times 3}{16} = 9.2.$$

$$K_{Tч} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{9.2} = 0.89$$

Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}},$$

де $Ш_{cp}$ - середня шорсткість поверхонь деталі, що обробляються,

$$Ш_{cp} = \frac{\sum R_{ai} \cdot n_i}{\sum n_{i_3}}$$

де R_{ai} - шорсткість i - ї обробленої поверхні деталі, мкм; n_i - число оброблених поверхонь з однаковою шорсткістю.

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{\sum R_{ai} \cdot n_i}{\sum n_{i_3}} = \frac{6.3 \times 12 + 3.2 \times 3 + 1.6 \times 3 + 0.4 \times 2}{20} = 4.54 .$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}} = \frac{1}{4.54} = 0.22 .$$

Якісний та кількісний аналіз технологічності показує, що в цілому деталь «корпус» є технологічною, має хороші розвинені базові поверхні. Достатню жорсткість і досить проста по конструкції.

1.4 Визначення типу виробництва

Тип виробництва - це класифікаційна категорія виробництва, що виділяється за ознаками широти номенклатури, регулярності та обсягу випуску виробів. Тип виробництва визначає вибір технологічного обладнання, степінь механізації та автоматизації технологічних процесів, технологічне оснащення і в цілому весь процес [7-9].

Попередньо тип виробництва на початковій стадії розробки технологічного процесу визначають залежно від річної програми (1000 шт.) Випуску і маси деталі (0,25 кг). Згідно табл.1.4 тип виробництва - серійний .

Таблиця 1.4 - Орієнтовні дані для попереднього визначення типу виробництва

Виробництво	Кількість деталей одного типорозміру, що обробляються за рік		
	Важкі (>100 кг)	середні (>10 до 100 кг)	легкі (<10 кг)
Одиничне	До 5	До 10	До 100
Дрібносерійне	5-100	10-200	100-500
Середньосерійне	100-300	200-500	500-5000
Крупносерійне	300-1000	500-5000	5000-50000
Масове	>1000	> 5000	>50000

На підприємствах серійного виробництва, як правило, значна кількість обладнання складається з універсальних верстатів, які обладнані як спеціальними, універсальним і універсально-збірними (УЗП) пристроями, що дозволяють знизити працемісткість і собівартість виготовлення виробу. При невеликій працемісткості оброблення або недостатньо великій програмі випуску виробів бажано обробляти заготовки партіями, з послідовним виконанням операцій, тобто після оброблення всіх заготовок партії на одній операції виконувати обробку цієї партії на наступній операції. При цьому час оброблення на різних верстатах не узгоджують. Заготовки під час оброблення зберігають біля верстата, потім транспортують цілою партією [7-9].

В серійному виробництві застосовують також змінно-потоккову форму організації робіт. Тут обладнання розташовують по ходу технологічного процесу. Обробку виконують партіями, причому заготовки кожної партії можуть відрізнятися розмірами і конфігурацією, але допускають обробку на одному і тому ж обладнанні. Остаточно тип виробництва визначають за коефіцієнтом закріплення операцій на дільниці або потоковій лінії. Коефіцієнт закріплення - це відношення всіх деталей-операцій, які виконуються або повинні виконуватися на дільниці протягом місяця, до кількості робочих місць.

Форма організації - змінно-потоккова. Прийmemo усереднене значення нормативного коефіцієнта завантаження обладнання 0,8

Для серійного виробництва кількість деталей в партії, яка одночасно запускається у виробництво визначається, за формулою:

$$n = \frac{\alpha \times N}{F_p}$$

де α - днів - період запуску партії. Для забезпечення безперервності виробництва число днів, на яке необхідно мати запас готових деталей на складі в очікуванні збірки, називається періодичністю запуску. Рекомендується періодичність запуску: 3, 6, 12, 24 дня.

Для дрібних деталей вагою до 100 кг $\alpha = 5 - 10$ днів. Норму запасу для зберігання готових деталей на складі приймаємо $\alpha = 5$ днів.

N - річна програма випуску, 1000 шт.

F_p - річний дійсний фонд часу роботи верстата, дні. $F_p = 253$ дня

$$n = \frac{\alpha \times N}{F_p} = \frac{5 \times 1000}{253} = 19,76$$

Приймаємо $n = 20$ шт.

1.5 Шляхи удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус»

Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі «корпус», який використовується на базовому підприємстві, показав, що він має недоліки, які суттєво впливають на собівартість її виготовлення, а саме: використовується універсальний різальний інструмент і універсальне устаткування, яке обумовлює збільшення кількості переходів і операцій. Пропозиції по удосконаленню базового технологічного процесу можуть бути наступними:

1) забезпечити концентрацію операцій і переходів на одному верстаті, тобто перехід до малостадійного технологічного процесу через об'єднання декількох операцій, що раніше робилися окремо;

2) підвищення рівня механізації процесів за рахунок застосування сучасних верстатів з ЧПУ і сучасного металорізального різального інструменту.

Використання сучасного технологічного обладнання, оснастки і металорізального інструменту є надзвичайно важливим фактором, який впливає на продуктивність праці та поліпшення якості продукції. Це дозволить зменшити трудомісткість виготовлення деталі та знизити її собівартість.

1.5.1 Сучасний інструмент для фрезерування та свердлування на багатоцільових верстатах з ЧПК

Важливими конструктивними елементами деталей машин є отвори, які в залежності від службового призначення виробу та вимог до їх характеристик якості можуть використовуватись для забезпечення таких технологічних завдань:

1) виконувати функцію основних конструкторських баз, які визначають положення деталі в складальній одиниці або вузлу;

2) допоміжних конструкторських баз, які визначають задане положення деталей, які приєднуються;

3) кріпильних поверхонь, які можуть бути наскрізними для розміщення болтів, гвинтів тощо;

4) вільних поверхонь, які виготовляються у виробках великих габаритних розмірів переважно для зменшення їх загальної маси без втрати характеристик міцності та жорсткості конструкції виробу.

Оброблення отворів в суцільному матеріалі передбачає обов'язкове застосування першого технологічного переходу свердління, для реалізації якого використовують свердла різноманітних конструкцій [3-6].

Необхідно приймати до уваги, що осьові різальні інструменти є розмірними інструментами, що обумовлює обмеженість їх застосування, а розширення технологічних можливостей сучасних систем управління металорізальними верстатами з ЧПУ створює нові технологічні прийоми оброблення отворів фрезеруванням з круговою інтерполяцією. Оброблення отворів фрезеруванням є більш універсальним, а часто і більш продуктивним, оскільки фрезу одного розміру можна використовувати для оброблення отворів в широкому діапазоні зміни їх розмірів [3-6].

Оброблення свердління отворів в суцільному матеріалі має просту кінематичну схему оброблення, але процес різання характеризується складними фізичними та технологічними особливостями, які значною мірою обумовлені конструктивними особливостями різального інструменту. Для виготовлення різальної частини сучасних конструкцій свердел практично використовують швидкорізальні сталі (HSS) та металокерамічні тверді сплави HW та HC. Конструкції свердел значною мірою залежать від розмірів отворів, які необхідно обробляти. Для оброблення отворів розмірами $\varnothing \leq 15\text{мм}$ використовуються спіральні свердла традиційних конструкцій, які виготовляються з швидкорізальних сталей та суцільно твердосплавні свердла з металокерамічних

твердих сплавів. Додатковим засобом підвищення роботоздатності різальної частини свердла в заданих умовах оброблення, використовують градієнтні зносостійкі покриття на базі TiC , TiN , $TiCN$, Al_2O_3 та комбінації на їх основі, що забезпечує підвищення продуктивності оброблення та стійкості різальної частини інструменту [3-6].

Для оброблення отворів $\varnothing D \geq 12$ мм найбільш досконалою конструкцією свердел є свердла, різальна частина яких утворена змінними багатограними пластинами (рис.1.3).



Рисунок 1.3 - Конструкції свердел зі змінними багатограними пластинами

В порівнянні зі швидкорізальними спіральними свердлами свердла, оснащені твердосплавними пластинами, забезпечують збільшення швидкості різання не менше чим в 5 - 10 разів (до 300 м/хв.) при зниженні величини подачі в 2 - 3 рази, а через відсутність перемички зусилля подачі інструменту зменшуються на 60%. Особливістю експлуатації свердел з пластинами є необхідність підведення охолоджувально-змащувальної рідини через внутрішні канали під тиском 0,15МПа.



Рисунок 1.4 - Конструктивні виконання свердел ступінчатих:

a - цільне свердло для оброблення отвору і зняття фасок; *б, в* - збірні свердла для оброблення фасок і заглиблень під головку гвинта

Основні типи фрез, які використовуються на обробляючих центрах з ЧПУ, є торцеві і кінцеві циліндричні фрези. Торцеві збірні фрези застосовуються для оброблення площин, а кінцеві збірні циліндричні - для оброблення контурів. Залежно від конфігурації деталі і вимог креслення на операціях фрезерування використовують кінцеві сферичні, і торцеві конічні фрези. При цьому слід віддавати перевагу збірному інструменту з пластинами з твердого сплаву [3-6].

1.5.2 Особливості оброблення деталей на багатоцільових верстатах з ЧПК

Сучасні вертикально-фрезерні оброблювальні центри є універсальним високопродуктивним багатофункціональним обладнанням, на якому можна виконувати високоточне складне фрезерне оброблення. Завдяки своїй надійній конструкції та доступній ціні, відносяться до найпопулярніших видів обладнання. Вертикально-фрезерний центр дозволяє вирішувати широке коло завдань: високошвидкісне фрезерування, свердління отворів, розточування, шліфування поверхонь, обробка торців, отворів, пазів, складних вигинів, а також оброблення мініатюрних деталей у мікрометричному діапазоні в заготовках із різних матеріалів і сплавів. Сучасні високоточні центри з ЧПУ виконують як чорнову, так і чистову обробку, що дозволяє отримати з верстата повністю готову деталь. На багатоцільових (свердлувально-фрезерно-розточувальних) верстатах з ЧПУ найчастіше обробляють деталі складної конфігурації [3-6].

Отвори корпусних деталей ділять по призначенню на основні, допоміжні, у тому числі кріпильні. Оброблювані площини, пази і інші елементи деталей можуть розташовуватися перпендикулярно, паралельно або під кутом до осі шпинделя. Багатоцільові верстати замінюють фрезерні, свердлувальні, розточувальні верстати, оскільки вони дозволяють поєднати операції фрезерування прямолінійних поверхонь, центрування, свердління, розсвердлювання, розточування, нарізування різьби і фрезерування пазів кінцевими фрезами.

Площини фрезерують торцевими і кінцевими фрезами оснащеними твердосплавними пластинами. Зазвичай це здійснюється за два переходи:

чорновий і чистовий. Пази і уступи зазвичай обробляють кінцевими фрезами, оснащеними твердосплавними пластинами [3-6].

Серед технологічних переходів оброблення отворів відмічають свердління і нарізування різьблення в кріпильних отворах, розточування точних посадочних отворів - гладких і ступінчастих.

При обробці системи отворів на деталі широко застосовують перехід засвердлювання отворів короткими жорсткими свердлами - своєрідну розмітку розташування осей майбутніх отворів. При роботі по ливарній кірці це дозволяє вирішити і інші завдання: полегшити врізання і підвищити стійкість свердел невеликого діаметру і в той же час зняти фаску на вході в отвір, якщо вона передбачена технічними вимогами креслення [3-6].

1.5.3 Технічні характеристики верстата фірми HAAS

Для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус» запропоновано застосувати верстати з ЧПК фірми HAAS (США) VF-3. Він дозволяє виконувати наступні переходи оброблення заготовки: фрезерування, розточування, свердлування нарізання різьби [7].

Компанія HAAS пропонує широкий вибір верстатів з ЧПК лінійки VF різних розмірів, які відповідають усім виробничим вимогам. Залежно від індивідуальних потреб, завжди можна підібрати верстат VF, який відповідає заданим параметрам. Кожен вертикальний обробний центр лінійки VF забезпечує відмінні функції за привабливу ціну і містить широкий спектр варіантів для адаптації верстата до індивідуальних потреб. Усі верстати HAAS розроблені і випущені у місті Окснард, Каліфорнія, США. Моделі VF-3 - VF-5 забезпечують більшу робочу зону, ніж менші моделі VF-1 і VF-2.

Загальний вигляд верстата VF-3, а також зовнішній вигляд ЧПУ HAAS показано на рис.1.5 і на рис.1.6, а в табл.1.5 представлені основні технічні характеристики верстата.



Рисунок 1.5 - Загальний вигляд верстата VF-3



Рисунок 1.6 - Зовнішній вигляд ЧПУ HAAS

Таблиця 1.5 - Технічні характеристики верстата VF-3

РОБОЧИЙ СТИЛ:	
Поверхня столу X x Y	457 x 914 мм
Розмір T-образних пазів	16 мм x 5
Максимальна вага встановлюваної деталі	1588 кг
РОБОЧІ ПЕРЕМІЩЕННЯ	
Переміщення по осі X	1016 мм
Переміщення по осі Y	508 мм
Переміщення по осі Z	635 мм
Відстань між поверхнею столу і торцем шпинделя	102-742 мм
ШПИНДЕЛЬ:	
Конус шпинделя / опціонально	ISO 40 / BT
Максимальна швидкість обертання шпинделя	8100 об/хв
Тип приводу	Прямий
Максимальний крутний момент / при 2 000 об / хв /	122 Нм
Потужність двигуна шпинделя	22,4 кВт

ШВИДКІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОСІ:	
Прискорені переміщення по осях X, Y,Z	25,4 м/хв
Максимальна швидкість подачі при різанні	16,5 м/хв
СИСТЕМА ПАЛЕТ (ОПЦІЯ):	
Кількість палет	2
Час зміни палет	11,4
МАГАЗИН ІНСТРУМЕНТІВ:	
Кількість інструменту в магазині	20 / 30+1 /50+1
Метод вибору інструменту	довільний
Конус шпинделя	40
Максимальний діаметр інструмента	89 мм
Максимальний діаметр інструмента з вільними сусідніми карманами	127 мм
Максимальна вага інструменту	5,4 кг
Час зміни інструменту (середнє)	4,2 сек
Час від стружки до стружки (середнє)	4,5 сек
ТОЧНІСТЬ:	
Точність позиціонування	+/-0,005мм
Точність повторного позиціонування	+/-0,0025мм
ЧПК	HAAS

1.6 Висновки

В загальному розділі дипломної роботи проаналізовано призначення, конструкцію та технічні вимоги на об'єкт виробництва. Визначено тип виробництва та ступінь технологічності деталі «корпус». Проаналізовано сучасні досягнення та шляхи удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус», визначено прогресивне обладнання та сучасний металорізальний інструмент. Використання верстата з ЧПК фірми HAAS дозволяє сконцентрувати механічне оброблення на одному верстаті, підвищити точність, суттєво зменшити собівартість оброблення деталі «корпус».

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз існуючого технологічного процесу

Технологічний маршрут оброблення деталі «корпус», що застосовується на підприємстві, представлений у табл.2.1.

Таблиця 2.1 - Поопераційний маршрут оброблення деталі «корпус».

№ опер.	Найменування та зміст операції	Найменування обладнання
005	Заготівельна Прокат: D=80 мм; L=50 мм.	Стрічкопильний верстат для різання металу BS 115A
010	Термічна Термообробка: закалювання і штучне старіння.	Піч камерна
015	Токарна Підрізати торці, витримуючи р-р 42,5h9 (крес.42h9) і розточити отвір \varnothing 27H9 (крес. \varnothing 28H7), \varnothing 38H9 (крес. \varnothing 39H7) на глибину $7\pm 0,1$ (крес. $7\pm 0,05$) у відповідності до креслення. Різець2101-0005 ГОСТ18879-74	Токарно-гвинторізний верстат 1К62 
020	Фрезерна 1)Фрезерувати у розмір 46,6-0,1 (крес.46h12, вид зліва), витримуючи р-р $23,3 \pm 0,1$ (крес.23 $\pm 0,05$, вид справа). 2) Фрезерувати у розмір 55,6-0,1 (крес.55h12вид зліва), витримуючи р-р $23,3 \pm 0,1$, (крес. 23 $\pm 0,1$, вид справа). 3) Фрезерувати у розмір 42,6-0,1 (крес.42-0,1, вид зліва), витримуючи р-р 2-0,1 (крес.2 $\pm 0,03$, вид зліва), розмір 21,3-0,1 (крес.21, вид зліва) і 26,8-0,1(крес.26,5, вид зліва)	Широко універсальний фрезерний верстат мод.676 

025	<p>Слюсарна</p> <p>Видалити задирки, Напилок ГОСТ 1465-80.</p>	Верстак
030	<p>Координатно-розточна</p> <p>Свердлити, розточувати отвір $\varnothing 15H9$ (крес. $\varnothing 16$ H7, вид зліва), витримуючи розмір $19,25 \pm 0.05$ (крес. $19 \pm 0,02$, головний вид)</p>	<p>Координатно-розточний верстат</p> <p>2A450</p> 
035	<p>Шліфувальна</p> <p>1) Шліфувати у розмір $55h12$, витримуючи розмір $23 \pm 0,1$ (вид справа).</p> <p>2) Шліфувати у розмір $46h12$ і $42-01$ (вид справа) витримуючи розмір $23 \pm 0,05$ (вид справа), $2 \pm 0,03$ (вид зліва), $26,5$ і 21 (вид зліва).</p>	<p>Універсальний плоскошліфувальний верстат з горизонтальним шпинделем</p> <p>3Л722В.</p> 
040	<p>Координатно-розточна</p> <p>Розточити отвори $\varnothing 28H7$, $\varnothing 16H7$, $\varnothing 39H7$ у відповідності до креслення</p>	<p>Координатно-розточний верстат</p> <p>2A450</p> 
045	<p>Токарна</p> <p>На планшайбі розточити $\varnothing 23$, $\varnothing 30$ і фаски у відповідності до креслення.</p>	<p>Токарно-гвинторізний верстат</p> <p>1К62</p> 
050	<p>Слюсарна</p> <p>Свердлити, зенкувати, нарізати різьбу у відповідності до креслення</p>	Верстак. Настільний-свердлувальний верстат
055	Гальванічна	
060	Контрольна	

Інженерний аналіз показав, що існуючий технологічний процес забезпечує якісні показники оброблення деталі, хоча продуктивність праці є низькою.

При розробленні технологічного процесу механічної оброблення перед технологом завжди виникає завдання щодо вибору найбільш ефективного рішення. Сучасні методи механічного оброблення і велика різноманітність технологічного обладнання, а також нові методи оброблення металів - все це дозволяє складати різні варіанти технологічного процесу, що забезпечуватимуть виготовлення виробу у відповідності до технічних вимог [8-11].

В існуючому технологічному процесі використовується застаріле універсальне обладнання, а саме токарні, вертикально-фрезерні, координатно-розточні та радіально-свердлувальні верстати, а різьба в отворах нарізується вручну. Для підвищення точності оброблювання та зменшення кількості верстатів у новому технологічному маршруті оброблення пропонується застосувати верстати з ЧПК фірми HAAS VF1.

2.2 Вибір заготовки та методу її отримання

При виборі заготовки для проектування технологічного процесу механічного оброблення деталі «корпус» враховуємо її розміри та конструкцію, технічні вимоги, масштаб і серійність випуску [8-11].

Зазвичай спосіб виготовлення заготовки вибирають у такій послідовності: аналізують фактори, що впливають на спосіб виготовлення заготовки, визначають матеріал, конструктивну форму заготовки, аналізують можливості отримання заготовки, вибирають спосіб виготовлення заготовки та основного устаткування; здійснюють техніко - економічне обґрунтування та розрахунки.

Враховуючи, що деталь «корпус» виготовляється з алюмінієвого сплаву АК-6 ГОСТ 4784-97, заготовку доцільно вибирати із сортового круглого прокату. Альтернативним варіантом заготовки для виробництва деталі «корпус» може бути поковка, отримана гарячим об'ємним штампуванням. У цьому випадку форма заготовки значною мірою була б наближена до форми готової деталі. Це сприяло

б економії використання металу, що використовується для виготовлення деталі.

Аналіз існуючого обладнання на базовому підприємстві показав, що на підприємстві відсутні можливості організації виготовлення заготовок методом гарячого штампування. Замовлення заготовок на інших підприємствах можливе, але в нинішніх умовах недоцільно.

Оскільки при програмі випуску $N=1000$ шт в рік, виготовляти штампове оснащення в умовах базового підприємства економічно недоцільно, приймаємо остаточний метод отримання заготовки. Враховуючи розміри деталі, вибираємо круглий прокат діаметром $D=80$ мм і довжиною $L=50$ мм (рис. 2.1).

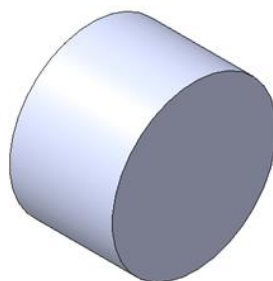


Рисунок 2.1 - 3D модель заготовки

2.3 Вибір технологічних баз

Вихідними даними для вибору баз при обробленні деталі «корпус» є: креслення деталі з усіма необхідними технічними вимогами, вид і точність заготовки, умови розташування і роботи деталі в машині.

Основні принципи, якими керуємось при виборі технологічних баз, є наступні:

- 1) принцип суміщення баз - за технологічні бази приймаємо конструкторські бази, що служать для визначення положення деталі у виробі;
- 2) принцип сталості баз - на всіх основних операціях використовуємо одні і ті ж самі бази.
- 3) також бази мають забезпечувати хорошу стійкість і надійність встановлення заготовки.

Інженерний аналіз показує, що чорновою базою для оброблення деталі на першому установі з використання верстата HAAS VF-3 доцільно обрати торець і необроблену зовнішню циліндричну поверхню заготовки.

2.4 Вибір технологічного маршруту оброблення деталі

Технологічний маршрут проектуємо на основі заводського (базового) технологічного маршруту. При удосконаленні заводського технологічного маршруту технологічного процесу керуємося наступними принципами [8-11]:

- 1) в першу чергу обробляються ті поверхні, які є базовими при подальшій обробці;
- 2) після цього обробляються поверхні з найбільшим припуском;
- 3) далі виконується обробка поверхонь, зняття металу з яких в найменшій мірі впливає на жорсткість заготовки;
- 4) поверхні, обробка яких пов'язана з точністю і допусками відносного розташування поверхонь;
- 5) в процесі чорнкової оброблення знімаємо основну масу металу і забезпечуємо взаємне розташування поверхонь. Метою чистової оброблення є досягнення заданої точності поверхонь деталі і точності їх взаємного розташування.

Для оброблення деталі «корпус» використовується метод концентрації операцій, тобто необхідно виконати максимально-можливу кількість переходів за один установ заготовки. Забезпечити виконання даного принципу дозволяє використання багатоцільових верстатів з великою кількістю інструментів фірми HAAS (США). Дане обладнання широко розповсюджене на світових ринках, випускається ціла гамма верстатів, які поділяються за кількістю інструменту, максимально можливими розмірами заготовки тощо.

Оброблення отворів в суцільному матеріалі передбачає обов'язкове застосування першого технологічного переходу свердління, для реалізації якого використовують свердла різноманітних конструкцій. Необхідно приймати до уваги, що осьові різальні інструменти є розмірними інструментами, що обумовлює

обмеженість їх застосування, а розширення технологічних можливостей сучасних систем управління металорізальними верстатами з ЧПУ створює нові технологічні прийоми оброблення отворів фрезеруванням з круговою інтерполяцією. Оброблення отворів фрезеруванням є більш універсальним, а часто і більш продуктивним, оскільки фрезу одного розміру можна використовувати для оброблення отворів в широкому діапазоні зміни їх розмірів.

Крім того, на ринку інструментальних матеріалів спостерігається тенденція підвищення зносостійкості нанесенням покриттів, застосування максимальних режимів оброблення та підвищеного періоду стійкості твердосплавних пластинок.

Велику роль у вдосконаленні виробництва відіграє оснастка різного роду. Впровадження прогресивних верстатних пристроїв сприяє підвищенню продуктивності і точності оброблення, складання та контролю; полегшенню умов праці, скороченню кількості і зниженню необхідної кваліфікації робітників; розширенню технологічних можливостей обладнання; підвищенню безпеки праці.

При проектуванні технологічної операції вирішується комплекс питань: уточняється послідовність і зміст переходів; вибираються засоби технологічного оснащення режими різання, норми часу тощо [8-11].

При розробленні послідовності та змісту переходів необхідно прагнути до скорочення часу оброблення за рахунок раціонального вибору засобів технологічного оснащення, числа переходів, поєднання основного і допоміжного часу, а також враховувати вимоги до взаємного розташування поверхонь. На основі цього приймаємо маршрут оброблення деталі «корпус» з використанням верстата HAAS VF-3 (табл.2.2).

Таблиця 2.2 - Маршрут оброблення деталі «корпус»

Операція	Модель верстата та зміст операції	Різальний інструмент
005 Заготівельна	Стрічкопильний верстат для різання металу BS 115A Відрізати заготовку $\varnothing 80$ мм, L = 50 мм.	Стрічкова пилка по металу
010Термічна	Термообробка: закалювання і штучне старіння	

015 Комбінована	Верстат з ЧПК HAAS VF3	
	Установ 1. Базування у лещатах з призматичними губками (z-verx) (x,y-centr)/	
	У відповідності до креслення:	
	1. Свердлити отвір Ø 25 мм на прохід;	T25
	2. Фрезерувати торець;	T19
	3. Фрезерувати контур;	T16
	4. Фрезерувати отвір Ø28H7;	T12, T6
	5. Фрезерувати отвір Ø39H7;	T10
	6. Розфрезерувати отвір Ø 30;	T18
	7. Центрувати 6 отв. Ø 1.6-2 мм;	T11
	8. Свердлити 6 отв. Ø 2 мм на глибину 8 мм;	T2
	9. Нарізати різьбу M2,5-6H в 6 отв.;	T20
	10. Центрувати 4 отв. Ø 1.6-2 мм.	T11
	11. Свердлити 4 отв. Ø 4.2 мм на глибину 12 -0.2 мм	T4
	12. Свердлити фаски 4 отв. Ø 7 мм	T7
13. Нарізати різьбу M5-6H в 4 отв.	T22	
Установ 2. Базування у лещатах з прямими губками x-livui torec)(y-neruhoma gubka) (z-nuz)		
У відповідності до креслення:		
1. Фрезерувати торець, витримуючи розмір 42 h7;	T19	
2. Центрувати 4 отв. Ø 1.6-2 мм.;	T11	
3. Свердлити 4 отв. Ø 4.2 мм на глибину 12-0.2 мм;	T4	
4. Свердлити фаски 4 отв. Ø 7 мм	T7	
5. Нарізати різьбу M5-6H в 4 отв.	T22	
Установ 3. Базування у лещатах з прямими губками		
У відповідності до креслення:		
1. Фрезерувати площину;	T12	
2. Фрезерувати отвір Ø16 H7;	T10, T6	
3. Розфрезерувати отвір Ø 23 мм.;	T15	
4. Центрувати, 4 отв. Ø 1.6-2 мм.;	T11	
5. Свердлити 4 отв. Ø 2,5 мм на глибину 8-0.2 мм.	T14	
6. Нарізати різьбу M3-6H в 4 отв.	T21	
Установ 4. Базування у лещатах з прямими губками (x-livui torec) (y-neruhoma gubka) (z-nuz)		
У відповідності до креслення		
1. Фрезерувати площину;	T12	
2. Центрувати, 4 отв. Ø 1.6-2 мм.;	T11	
3. Свердлити 4 отв. Ø 2,5 мм на глибину 8-0.2 мм.	T14	
4. Нарізати різьбу M3-6H в 4 отв.	T21	

020 Контрольна	Контрольний стіл	
025 Гальванічна	Гальванічна ванна	
030 Контрольна	Контрольний стіл	

2.5 Сучасні закордонні металорізальні інструменти

У каталогах ТМ ZCC-CT представлений широкий спектр монолітних кінцевих фрез для ЧПУ верстатів. Монолітні кінцеві фрези розрізняють на фрези зі сферичним кінцем і на фрези загального призначення (пальчикові фрези). Також фрези діляться за типом хвостовика з широкою лискою DIN 6535 HE, з короткою лискою DIN 6535 HB, і з циліндричним хвостовиком DIN 6535 HA. Велику роль на чистоту оброблення впливає кут підйому витків фрези та кількість витків (пір'я) [5].



Рисунок 2.2 - Різучий інструмент

У каталогах ТМ ZCC-CT представлений широкий спектр монолітних сверدل. Діапазон монолітних свердлів від 0,9 мм до 20 мм з кроком діаметрів 0,1 мм. Центрівка призначена для створення певної точності циліндричної осі заготовки. ТМ ZCC-CT пропонує центрування двох видів з кутом 90° Серії 1143SC90-, а також з кутом 120° Серії 1143SC120 [5].

Для оброблення отворів $\varnothing D \geq 12$ мм найбільш досконалою конструкцією свердел є свердла, різальна частина яких утворена змінними багатограними пластинами (рис.2.3)



Рисунок 2.3 - Конструкції свердел зі змінними багатограними пластинами

Різьбофрези це новий рівень при нарізанні внутрішніх та зовнішніх різьблень. Різьбофрези мають ряд переваг над мітчиками: при поломці інструменту інструмент не застрягне в отворі деталі, що дуже важливо при нарізанні різьблення в дорогій, відповідальній деталі; можливість отримання остаточного розміру при нарізанні різьблення на ЧПУ. При нарізанні мітчиком не завжди це може бути досягнуто, якщо розмір контролюється пробкою; можливість застосування одного інструменту на різних діаметрах нарізування різьблення одного кроку різьблення. У каталогах ТМ ZCC-CT різьбофрези представлені серією 4111- [5].

Результати проведеної роботи, щодо вибору металорізального інструменту для механічного оброблення деталі «корпус» на верстаті з ЧПК фірми HAAS мод. VF-3 приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Металорізальні інструменти, що використовуються при обробці деталі «корпус» на верстаті HAAS VF-3.

№	Виробник інструменту	Характеристика та опис
T25	ZTD02-250-XP25-SP07-02	Свердло Ø 25 мм. Свердла зі змінними пластинами ZTD02-250-XP25-SP07-02.
T19	EMP01-020-G20-AP11-03	Фреза Ø 20 мм. Фреза кінцева зі змінними пластинами. Кут в плані 90°. Тримач для ріжучих інструментів для пластин з ЧПК АРКТ11 Прямий хвостовик.
T6	AL-2B-R3.0	Твердосплавна радіусна фреза для оброблення алюмінію та алюмінієвих сплавів. Радіус ріжучої частини: 3 мм, діаметр 6 мм, довжина 60 мм. Геометрія радіусна (сферична).
T12	ZCC-CT AL-3E-D12	Фреза ZCC-CT AL-3E-D12.0 монолітна кінцева твердосплавна Діаметр 12 мм, Довжина 75 мм; Довжина ріжучої частини 33 мм. Виробник Китай.

T10	ZCC-CT AL-3E-D10.0	Фреза ZCC-CT AL-3E-D10.0. Монолітна кінцева твердосплавна . Діаметр 10 мм, Довжина 75 мм; Виробник Китай. Діаметр 12 мм, довжина 75 мм, кількість зубів 3
T16	Фреза ZCC-CT AL-3E-D16.0	Фреза ZCC-CT AL-3E-D16.0. Монолітна кінцева твердосплавна . Діаметр 16 мм, Довжина 75 мм; Виробник Китай. Діаметр 16 мм, довжина 75 мм, кількість зубів 3
T15	Фреза Т-подібна 14,25×10,6	Фреза Т-подібна 14,25×10,6 Фреза пазова для оброблення Т-образних пазів зі швидкорізальної сталі ГОСТ 7063-72. Застосовується для оброблення Т-образних пазів за ГОСТ 1574-75.
T18	Фреза Т-подібна 16.5×2.5	Фреза пазова для оброблення Т-образних пазів зі швидкорізальної сталі ГОСТ 7063-72. Застосовується для оброблення Т-образних пазів за ГОСТ 1574-75.
T11	Свердло центрувальне Ø 1.6-2 мм.	Свердло центрувальне Ø 1.6-2 мм. DIN333 (ГОСТ 14952). HSS (P6M5) - швидкорізальна сталь.
T2	ZCC-CT 1536SU05-0200	Свердло ZCC-CT 1536SU05-0200 монолітне твердосплавне Ø 2 мм.
T14	ZCC-CT 1 536SU05-0250	Свердло ZCC-CT 1536SU05-0250 монолітне твердосплавне Ø 2.5мм.
T4	ZCC-CT 1534SU03C-0420	Свердло ZCC-CT 1536SU05-0420 монолітне твердосплавне Ø 4.2 мм
T7	ZCC-CT 1534SU03C-0700	Свердло ZCC-CT 1536SU05-0700 монолітне твердосплавне Ø 7 мм
T20	H5088006-M2.5-0.45	Різьбофреза твердосплавна Walter H5088006. Хвостовик DIN 6535HA. 3 зуба. Покриття TiCN.
T21	H5088006-M3-0.5	
T22	H5088006-M5-0.8	

2.6 Розрахунок та вибір режимів різання

На етапі проектування технологічних операцій оброблення різанням для визначення моменту та сил різання традиційно використовують рекомендації технологічних довідників, які, на жаль, є застарілими і значною мірою не відповідають сучасним технологічним умовам оброблення. Використання нових конструкційних матеріалів, переважне застосування в умовах машинобудівного виробництва сучасних верстатів з ЧПУ вимагає пошуку більш надійних рекомендацій для визначення силових навантажень, які є важливими вихідними даними для визначення оптимальних режимів різання [8-11].

2.6.1 Аналітичний розрахунок режимів різання на свердлування отвору $\varnothing 25$ мм

Обробка ведеться на верстаті з ЧПК фірми HAAS VF-3. Ріжучий інструмент свердло $\varnothing 25$ мм із ріжучою частиною з твердого сплаву

Визначаємо глибину різання:

$$t = 0,5 D ,$$

$$t = 0,5 \times 25 = 12,25 \text{ мм.}$$

Подача при свердлінні отворів без обмежуючих факторів обирається максимально допустимою по міцності свердла $S_{\text{табл.}} = 0,8$ мм/об [10, с. 277, табл. 25]. Враховуючи те, що ми використовуємо свердло із ріжучою частиною з твердого сплаву вводимо поправочні коефіцієнти:

$$S = S_{\text{табл.}} \times K_{ls} \times K_{os} \times K_{жс} \times K_{ув} ,$$

де,

K_{ls} - коефіцієнт, враховує глибину отвору. Приймаємо $K_{ls} = 1,0$;

K_{os} - коефіцієнт, що враховує якість отвору. Приймаємо $K_{os} = 0,5$;

$K_{жс}$ - коефіцієнт, що враховує недостатню жорсткість системи ВПД, Приймаємо $K_{жс} = 1,0$;

$K_{ув}$ - коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини. Приймаємо $K_{ув} = 0,6$.

Отже,

$$S = 0,8 \times 1,0 \times 0,5 \times 1,0 \times 0,6 = 0,24 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання визначаємо по формулі:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v ,$$

де коефіцієнт $C_v = 36,3$ і показники ступеню $q = 0,25$; $y = 0,55$; $m = 0,125$ [10, с. 278, табл. 28]; T - період стійкості інструменту $T = 50$ [10, с. 279, табл.30].

K_v - загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючий фактичні умови різання:

$$K_v = K_{Mv} \times K_{Hv} \times K_{lv} ,$$

де $K_{Mv} = 0,8$ - коефіцієнт на матеріал що обробляється [10, с. 263, табл. 4.

K_{lv} - коефіцієнт на інструментальний матеріал $K_{lv} = 1$ [10, с. 263, табл. 6],

K_{lv} - коефіцієнт враховуючий глибину свердлення $K_{lv} = 1$ [10, с. 280, табл. 31].

$$K_v = 0,8 \times 1 \times 1 = 0,8.$$

$$v = \frac{36.3 \times 25^{0,25}}{50^{0,125} \times 0.24^{0,55}} \times 0,8 = 86.8 \text{ м/хв.}$$

Число обертів шпинделя

$$n = \frac{1000 \times v}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 86.8}{3,14 \times 25} = 1105 \text{ об/хв.}$$

Крутний момент розраховується по формулі

$$M_{кр} = 10 \times C_M \times D^q \times s^y \times K_p,$$

де K_p та C_M - довідникові коефіцієнти, q та y - показники степені.

$$C_M = 0,005; q = 2,0; y = 0,8 [10, с. 281, табл. 32].$$

Коефіцієнт враховуючий фактичні умови обробки, в даному випадку залежить тільки від матеріалу заготовки, що оброблюється та визначається із виразу:

$$K_p = K_{mp}.$$

Значення коефіцієнта $K_{mp} = 1$. Приведені у табл.10 [10, с. 265].

$$M_{кр} = 10 \times 0.005 \times 25^2 \times 0.24^{0,8} \times 1 = 9.98 \text{ Нм.}$$

Осьова сила P_o , Н визначається за формулою;

$$P_o = 10 \times C_p \times D^q \times s^y \times K_p,$$

де $C_p = 9,8$, $q = 1,0$, $y = 0,7$. [10, с. 281, табл. 32] .

$K_p = K_{mp}$ і рівний значенню $K_{mp} = 1$ для крутного моменту.

$$P_o = 10 \times 9.8 \times 25^1 \times 0.24^{0,7} \times 1 = 902 \text{ Н.}$$

Потужність різання N , кВт визначається по формулі:

$$N_e = \frac{M_{кр} \times n}{9750} = \frac{9.98 \times 1105}{9750} = 1,13 \text{ кВт},$$

де n - частота обертання інструмента.

Розрахунок основного машинного часу оброблення T_m , хв.

$$T_m = \frac{L_{px}}{n \times s_o}.$$

Перебіг свердла $\Delta = 1 \dots 3$ мм; приймаємо $\Delta = 3$ мм. Приймаємо

$$L_{px} = 3 + 50 + 5 = 50 \text{ мм}.$$

$$T_m = \frac{58}{1105 \times 0.24} = 0.22 \text{ хв.}$$

2.6.2 Розрахунок режимів різання при фрезеруванні торця

Чорнову обробку деталі проводимо на верстаті HAAS VF-3, обробляємо плоску поверхню шириною $B = 42$ мм і довжиною $l = 55$ мм; припуск на обробку $h = 1$ мм. Матеріал - алюмінієвий сплав АК6 ГОСТ 4784-97 з межею міцності $\sigma_b = 1420$ МПа. Заготовка - прокат. Обробка попередня; параметр шорсткості $Rz = 80$ мкм. Ескіз обробки наведено на рис. 2.2.

1. Приймаємо кінцеву фрезу, оснащену пластинами з твердого сплаву ВК 8. Приймаємо діаметр фрези $D = 20$ мм з числом зубів $z = 4$.

2. Призначаємо режими різання. Припуск знімаємо за один прохід. Встановлюємо глибину різання $t = 1$ мм. Приймаємо $S_z = 0,1$ мм / зуб. [10, с.285, табл. 36].

3. Призначаємо період стійкості фрези $T = 80$ хв [10, с.290, табл. 40].

4. Визначаємо швидкість різання, що допускається ріжучими властивостями фрези за формулою [10, с. 282]:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v$$

Визначаємо коефіцієнти за довідником $m, x, y, u, p, q, C_v, K_v$ [10, с.289, табл.39]:

$$m=0.33, x=0.3, y=0.2, u=0.1, p=0.1, q=0.45, C_v = 185.5, K_{nv} = 0,8, K_{uv} = 1.$$

Коефіцієнт K_v розраховуємо за формулою:

$$K_v = K_{mv}K_{nv}K_{uv},$$

Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей алюмінієвих сплавів на швидкість різання $K_{mv} = 1,0$ [10, с.263, табл.4].

Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання $K_{nv} = 0,9$ [10, с.263, табл.5].

Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання $K_{uv} = 2,7$ [10, с.263, табл.6].

Отже,

$$K_v = 1.0 \times 0.9 \times 2.7 = 2.43$$

Розраховуємо теоретичну швидкість різання

$$V = \frac{185.5 \times 20^{0.45}}{80^{0.33} \times 1^{0.3} \times 0,1^{0.2} \times 20^{0.1} \times 4^{0.1}} \times 2.43 = 418 \text{ м/хв.}$$

5. Розраховуємо частота обертання шпинделя, відповідна знайденої швидкості різання:

$$n = (1000 \times V) / (\pi \times D) = (1000 \times 418) / (3.14 \times 20) = 6656 \text{ об/хв.}$$

6. Подача (поздовжня) $S_m = S_z \times z \times n_d = 0,1 \times 4 \times 6656 = 2662 \text{ мм/хв.}$

7. Визначаємо головну складову сили різання за формулою [10, с.282] :

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z}{D q n^w} K_{mp},$$

Де $C_p=12,5; x=0.85; y=0.75; u=1.0; q=0.73; w= -0.13$ [10, с.291] :

Поправочний коефіцієнт K_{mp} , який враховує вплив якості алюмінієвого сплаву на силові залежності. $K_{mp} = 1.0$ [10, с.265, табл.10].

$$P_z = \frac{10 \times 12.5 \times 1^{0.85} \times 0.1^{0.75} \times 20^1 \times 4}{20^{0.73} \times 6656^{-0.13}} \cdot 1 = 627.8 \text{ Н.}$$

Визначаємо крутний момент на шпинделі за формулою [10, с.290]:

$$M_{кр} = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{627.8 \times 20}{2 \times 100} = 62.78 \text{ Нм.}$$

Визначаємо потужність різання за формулою [10, с.290]:

$$N_e = \frac{P_z \times v}{1020 \times 60} = \frac{627.8 \times 418}{1020 \times 60} = 4,29 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо основний технологічний час T_o :

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S_m} = \frac{(l + \Delta) \cdot i}{S_m} = \frac{(80 + 15) \cdot 3}{2662} = 0.11 \text{ хв,}$$

де L - шлях, що проходить фреза, мм; l - довжина оброблюваної поверхні, мм; i - число проходів; Δ - поправка на врізання та перебіг фрези ($\Delta = 15$ мм); S_m - подача (поздовжня), мм/хв.

2.6.3 Вибір режимів різання табличним методом

На всі інші переходи режими різання визначаємо за каталогами фірм - виробників металорізального інструменту (табл.2.4).

Таблиця 2. 4 - Інструмент і режими різання

	Інструмент	Число обертів ін-ту за хвилину S	Швидкість $V=(\pi \times D \times n)/1000$ $V, \text{ м/хв}$	Хвилинна подача F $S_{хв}, \text{ мм/хв}$	Подача на один оборот $S_{об},$ мм/об
T25	Свердло D=25 мм	1105	86,8	265.2	0.24
T19	Фреза d 20 АРКТ ZCC	8000	502.4	2500	0.3125
		7800	489.84	2500	0,32
T6	6R3	6500	122,46	2300	0,3538
		6500	122,46	1000	0.15
T10	10R0	4800	150,72	650	0,1354
		3800	119,32	250	0,066
		6494	203,9	1200	0.1848

T12	12R0	6000	226,08	1600	0,27
		5000	204	300	0,06
		6000	226,08	800	0,13
		7500	282,6	1000	0,13
T16	Фреза D = 16мм	7000	351.68	1700	0,2428
		7500	376.8	1000	0,13
T11	Свердло центрувальне D = 1.6-2	3000	15,072	50	0.017
		3500	17,584	50	0.014
T4	Свердло D = 4.2 мм	4000	52,752	100	0.025
T7	Свердло D = 7 мм	3000	18,84	80	0.027
T2	Свердло D = 2,5 мм	3200	20,96	1600	0,5
T14	Свердло D = 2,5 мм	4000	31,4	100	0.025
T15	Фреза Т-подібна 14,25×10,6	1300	58,17	40	0.03
T18	Фреза Т-подібна 16.5×2.5	2300	165,8	80	0,035
T20	Різьбофреза M2.5-0.45	700	5.5	315	0,45
T21	Різьбофреза M3-0.5	700	6.6	420	0.6
T22	Різьбофреза M5-0.8	700	11	630	0.9

2.7 Аналітичний розрахунок припусків

Аналітичний метод визначення припусків базується на аналізі похибок, що виникають при механічній обробці даної поверхні. В даній дипломній роботі проведено аналітичний розрахунок для циліндричної поверхні $\text{Ø}28\text{H}7$ ($\text{Ø}28^{+0.021}\text{мм}$). Центрування даного отвору в розрахунок припусків не входить оскільки воно робиться з іншою метою - для зменшення похибки позиціонування інструменту під час подальшого свердлування і не впливає на величину

припусків.

Технологічний маршрут оброблення отвору Ø28H7:

- 1) свердлування Ø25 H11, Ra12,5;
- 2) фрезерування напівчистове Ø27,7 H8, Ra 3.2;
- 3) фрезерування чистове Ø28 H7 Ra 1,25.

Розрахунок припусків ведемо у вигляді табл.2.5, в яку послідовно записується технологічний маршрут обробки й всі значення елементів припусків. Призначаємо допуски на кожний перехід [10, Т.1, с.192] і заносимо в табл.2.5. Допуск на кінцевий перехід приймаємо рівний допуску на розмір деталі.

Якість поверхонь після механічної обробки [10, с.190]:

- 1) для свердлування: $R_z = 50$ мкм; $h = 50$ мкм;
- 2) для фрезерування напівчистового: $R_z = 10$ мкм; $h = 15$ мкм;
- 3) для фрезерування чистове: $R_z = 5$ мкм; $h = 5$ мкм.

Для заготовки з прокату сумарне значення просторових відхилень ρ визначається за формулою:

Сумарне значення просторових відхилень при обробці отвору в нерухомій деталі [8, с.69]:

$$\rho = \sqrt{C_0^2 + (\Delta_y \cdot L)^2} = \sqrt{25^2 + (0.9 \cdot 50)^2} = 51,5$$

Величина залишкових просторових відхилень після свердлування, фрезерування напівчистового і фрезерування визначається за формулою [8, с.73]:

$$\rho_{\text{зал}} = K_y \cdot \rho,$$

де K_y - коефіцієнт уточнення форми після механічної обробки:

$K_y = 0,06$ - для свердлування;

$K_y = 0,005$ - для фрезерування напівчистове;

$K_y = 0,002$ - для фрезерування чистового [8, с.73].

$$\rho_{\text{зал1}} = 0.06 \times 51.5 = 3.1 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{зал2}} = 0.005 \times 3.1 = 0.0155 \text{ мкм. Приймаємо } \rho_{\text{зал2}} \approx 0 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{зал3}} = 0.002 \times 0.0155 = 0.000031 \text{ мкм. Приймаємо } \rho_{\text{зал3}} \approx 0 \text{ мкм.}$$

Похибка установки при обробці отворів визначається за формулою [8, с.74]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2},$$

де ε_6 - похибка базування, мкм.

ε_3 - похибка закріплювання, мкм.

При обробці деталі з затиском в самоцентрувальних лещатах з упором в торець похибка установки на поверхню, що обробляється дорівнює нулю.

Приймаємо $\varepsilon_y = 0$.

Мінімальне значення припуску:

$$2Z_{\min i} = 2 \left((R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \text{ мкм}$$

де $R_{z_{i-1}}$; h_{i-1} ; ρ_{i-1} - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та сумарне значення просторових відхилень, які одержані на попередньому переході;

ε_i - похибка установки, яка одержана на даному переході, мкм.

Визначаємо мінімальний припуск при фрезеруванні напівчистовому:

$$Z_{\min 2} = ((50 + 50) + \sqrt{3.1}) = 101.76 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{\min 2} = 204 \text{ мкм.}$$

Визначаємо мінімальний припуск при фрезеруванні чистовому:

$$Z_{\min 3} = ((10 + 15) + 0) = 25 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{\min 3} = 50 \text{ мкм}$$

Графа табл.2.5 «Розрахунковий розмір» (d_p) заповнюється починаючи з кінцевого (в даному випадку з креслярського) розміру послідовним відніманням розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу. Таким чином, маючи розрахунковий (креслярський) розмір, після останнього переходу (в даному випадку чистового фрезерування 28.021 мм) для решти переходів отримуємо:

для чорного фрезерування: $d_{p2} = 28.021 - 0.050 = 27.971 \text{ мм.}$

для свердлування: $d_{p1} = 27.971 - 204 - 27.767 \text{ мм.}$

Значення допусків кожного переходу приймаються за таблицями відповідно до якості того чи іншого виду обробки:

Свердлування	Ø25 H11	$T_{d1} = 0.13$ мм
Фрезерування напівчистове	Ø27,7 H8	$T_{d2} = 0.033$ мм
Фрезерування чистове	Ø28 H7	$T_{d3} = 0.021$ мм

У графі «Граничний розмір» найбільше значення (d_{max}) виходить за розрахунковими розмірами, округленими до точності допуску відповідного переходу. Найменші граничні розміри (d_{min}) визначаються з найбільших граничних розмірів відніманням допусків відповідних переходів.

Таким чином, для чистого фрезерування найбільший граничний розмір - 28021, найменший - $28021 - 21 = 28000$ мкм;

Для чорнового фрезерування максимальний граничний розмір - 27971 мм., а найменший $27971 - 0.033 = 27938$ мкм; для свердлування найбільший граничний розмір - 27717 мкм, найменший - $27717 - 0.130 = 27587$ мкм;

Мінімальні граничні значення припусків дорівнюють різниці найбільших граничних розмірів виконуваного та попереднього переходів, а максимальні значення - відповідно різниці найменших граничних розмірів.

Тоді для чистого фрезерування

$$2Z_{min3} = 28021 - 27.971 = 50 \text{ мкм};$$

$$2Z_{min3} = 28000 - 27938 = 62 \text{ мкм}.$$

Для чорнового фрезерування

$$2Z_{min2} = 27.971 - 27.767 = 204 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max2} = 27938 - 27637 = 301 \text{ мкм}.$$

Усі результати здійснених розрахунків зведені в табл.2.5.

На основі розрахунків будемо схему графічного розташування припусків і допусків з обробки отвору Ø28H7 (рис. 2.4).

Загальні припуски Z_{min} та Z_{max} визначаємо, підсумовуючи проміжні припуски, та записуємо їх унизу відповідних граф:

$$2Z_{min} = 254 \text{ мкм}; \quad 2Z_{max} = 363 \text{ мкм};$$

Проводимо перевірку правильності виконання розрахунків:

$$Z_{\max 1} - Z_{\min 2} = 62 - 50 = 12 \text{ мкм}; \quad \delta_1 - \delta_2 = 0.033 - 0.021 = 12 \text{ мкм}$$

$$Z_{\max 3} - Z_{\min 1} = 301 - 204 = 97 \text{ мкм}; \quad \delta_3 - \delta_2 = 130 - 33 = 97 \text{ мкм}.$$

Отже, Розрахунки припусків та граничних розмірів за технологічними переходами на обробку отвору $\text{Ø}28\text{H}7$ виконано правильно.

Таблиця 2.5 - Розрахунок припусків та граничних розмірів за технологічними переходами на обробку отвору $\text{Ø}28\text{H}7$.

Маршрут обробки	Елементи припуску				Розрахунковий припуск Z_{\min} , мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні припуски, мкм	
	Rz	h	ρ	ε				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Прокат											
Свердлування	50	50	3.1	0	-	27.767	130	27.637	27.767		
Фрезерування напівчистове	10	15	0	0	204	27.971	33	27.938	27.971	204	301
Фрезерування чистове	5	5	0	0	50	28.021	21	28.000	28.021	50	62
									Σ	254	363

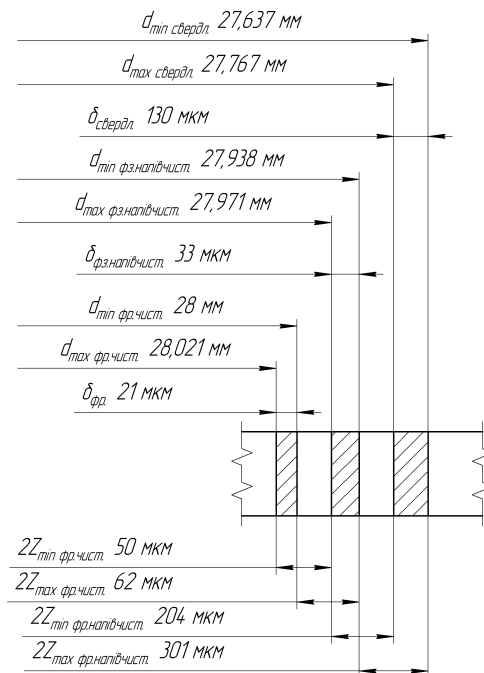


Рисунок 2.4 - Схема розташування полів допусків і припусків на обробку отвору $\text{Ø}28\text{H}7$

2.8 Розробка і редагування керуючих програм для механічного оброблення деталі «корпус»

Для промислових підприємств, що використовують процеси механічної оброблення деталей, актуальні завдання зниження трудомісткості операцій і собівартості виготовлення деталей зі збереженням заданих показників якості. Тому технологічні бюро ведуть постійний пошук шляхів вдосконалення технологічних процесів оброблення з урахуванням можливостей, що надаються новим високопродуктивним інструментом і сучасним інформаційно програмним забезпеченням [14-16].

Особливості сучасного етапу розвитку машинобудування характеризується значним поширенням і використанням багатофункціональних верстатів з ЧПК. Застосування такого типу обладнання дозволяє значно підвищити продуктивність оброблення і поліпшити якість виготовлених деталей. Головна особливість цього обладнання полягає в тому, що рух інструменту щодо оброблюваної заготовки заздалегідь програмується і записується в числовій формі. Основна функція будь-якого обладнання з ЧПК - автоматичне і точне управління рухом робочих органів. Робочі органи будь-якого верстату з ЧПК мають два або більше напрямки для руху, які називаються осями, причому, рух по цих осях здійснюється автоматично і з заданою точністю. Перша перевага використання верстатів з ЧПК полягає у високому рівні автоматизації. Випадки втручання оператора в процес виготовлення деталі можуть бути виключені або зведені до мінімуму. Процес технологічної підготовки виробництва повністю керується інженером-технологом. Більшість верстатів з ЧПК можуть працювати автономно протягом всього процесу оброблення заготовки деталі, тому оператор-верстатник може виконувати інші завдання. Друга перевага використання технології ЧПК полягає в більш точному виготовленні деталі. Сьогодні виробники верстатів з ЧПК говорять про високу точність і надійність обладнання. Це означає, що одного разу налагоджена керуюча програма може бути використана на верстаті з ЧПК для виробництва двох, десяти або тисячі абсолютно ідентичних деталей, причому при

повному дотриманні вимог до точності. Третьою перевагою застосування будь-якого обладнання з ЧПК є гнучкість і можливість швидкого переналадження обладнання. На обладнанні з програмним керуванням виготовлення різних деталей зводиться до простої заміни керуючої програми і, в деяких випадках, різального інструменту.

За способом підготовки і введення керуючої програми розрізняють, так звані, оперативні системи ЧПК (в цьому випадку керуючу програму готують і редагують безпосередньо на верстаті, в процесі оброблення першої деталі з партії або імітації її оброблення) і системи, для яких керуюча програма готується незалежно від місця оброблення деталі. Причому, незалежна підготовка керуючої програми може виконуватися або за допомогою засобів обчислювальної техніки, що входять до складу системи ЧПК даного верстата, або поза її (вручну або за допомогою системи автоматизації програмування) [14-16].

Керуючі програми для обробки деталей на верстатах з ЧПУ можуть розроблятися наступними способами:

- 1) ручним способом;
- 2) підготовка керуючих програм із застосуванням систем автоматичного програмування (САП);
- 3) програмування із застосуванням систем CAD / CAM;
- 4) діалогове програмування безпосередньо з пульта управління верстатом.
- 5) у процесі сканування (оцифрування) існуючої моделі.

Кожен з цих способів в тій чи іншій мірі застосовується на практиці. Ручне програмування є дуже виснажливим заняттям. Однак програмісти-технологи зобов'язані мати хороше розуміння техніки ручного програмування незалежно від того, чи дійсно вони її використовують. Програмування на стійці системи ЧПК стало популярним в останні роки. Програми створюються і вводяться безпосередньо на стійці системи ЧПУ, використовуючи клавіатуру, дисплей, а також систему графічних піктограм і меню.

Сьогодні всі основні розробники САПР в складі своїх програмних комплексів пропонують модулі для розробки УП для верстатів з ЧПУ. До переваг

цих модулів можна віднести те, що, будучи інтегрованими в системи автоматизованого проектування і відповідно забезпечуючи коректний обмін моделями між конструкторськими і технологічними модулями, вони дозволяють успішно розробляти УП для основних видів металообробного обладнання зі стандартними технологічними можливостями - для фрезерних, токарних та верстатів .

Програмування за допомогою САМ-систем дозволяє підняти програмування для верстатів з ЧПК на більш високий рівень, порівняно з рутинним ручним програмуванням. САМ системи позбавляють технолога-програміста від необхідності проводити математичні обчислення вручну; дозволяють створювати на одному базовому мовою керуючі програми для різного устаткування з ЧПУ; нарешті, вони забезпечують технолога типовими функціями, автоматизують ту чи іншу обробку. Для використання САМ-системи технолог-програміст використовує персональний комп'ютер або робочу станцію.

2.8.1 Розроблення керуючих програм для оброблення деталі «корпус»

Виконавши усі необхідні розрахунки скористаємося програмним продуктом CAMWorks для розроблення керуючої програми оброблення деталі «корпус».

CAMWorks - одна з найдосконаліших та найінтелектуальніших систем для створення керуючих програм з механооброблення твердих тіл. CAMWorks використовує інтерфейс SolidWorks, що значно полегшує роботу. Обробка ведеться безпосередньо в середовищі SOLIDWORKS безпосередньо по моделі SOLIDWORKS, в якій зберігаються результати роботи програміста. Таким чином забезпечується повна асоціативність моделі та траєкторій інструмента, що приводить до автоматичного оновлення всіх траєкторій інструмента при проведенні змін комп'ютерної моделі SOLIDWORKS [16].

CAMWorks включає технологічну базу даних, що дозволяє аналізувати та зберігати параметри використовуваних підходів та методів механооброблення. Збережені дані можуть викликатися та використовуватися в CAMWorks для

Технологічна інформація, що міститься у базі даних, поділяється на такі категорії:

1) верстати. Можуть бути занесені характеристики верстатів з ЧПУ та пов'язаних з ними стійок (контролерів).

2) інструменти. Поповнювана бібліотека може містити набір інструментів та пристроїв конкретного цеху чи підприємства.

3) інформація щодо параметрів різання, матеріалів заготовки та різального інструменту, для розрахунку подачі різання та швидкості обертання шпинделя.

4) елементи та операції. Операції та їх поєднання для кожної комбінації типів оброблюваних елементів, кінцевих умов та розмірів.

CAMWorks є елементно-орієнтованою системою для механооброблення. CAMWorks надає можливість автоматичного розпізнавання багатьох елементів, що обробляються. Для визначення елементів, не розпізнаних автоматично, CAMWorks надає інтерактивний майстер контурів. Процес визначення елементів подібний до аналогічного в SolidWorks. Після того як елементи, які повинні бути оброблені, визначені, автоматично генерується план обробки деталі.

CAMWorks надає і кілька інтегрованих способів та візуальних засобів для підвищення зручностей роботи, наприклад:

1) перенумерація операцій до створення траєкторії інструменту;

2) графічне відображення траєкторії інструменту;

3) імітація видалення матеріалу заготовки може значно знизити потребу в тестових прогонах верстата.

2.8.2 Редагування керуючих програм для верстатів з ЧПК

Редактор CIMCO Edit надає комплексний набір найважливіших інструментів для редагування, які потрібні для задоволення вимог до редагування сучасних програм ЧПУ. CIMCO Edit є стандартом для технологів-програмістів, які потребують надійного, зручного та недорогого інструменту для редагування керуючих програм та передачі даних на верстати з ЧПУ. Він не має обмежень на

розмір програми і включає спеціальні опції для роботи з кодом ЧПУ, наприклад, нумерація / перенумерація рядків, операції з символами і далекомір по осях XYZ. Він також включає математичні функції, серед яких базові розрахунки, обертання, відображення, корекція на інструмент і переміщення. CIMCO Edit повністю налаштовується і легко адаптується до будь-якого середовища [17].

УП-помічник робить редагування програм швидше та простіше. Зупиніть курсор на будь-якому кадрі та УП-помічник ідентифікує M або G код і дозволить змінити значення за допомогою інтерактивного інтерфейсу.

CIMCO Edit дозволяє швидко вставляти та редагувати складні цикли та операції. Він містить цикли та макроси для поширених операцій, включаючи початок керуючої програми, зупинки та зміну інструменту. Дозволяє записати власні цикли та макроси.

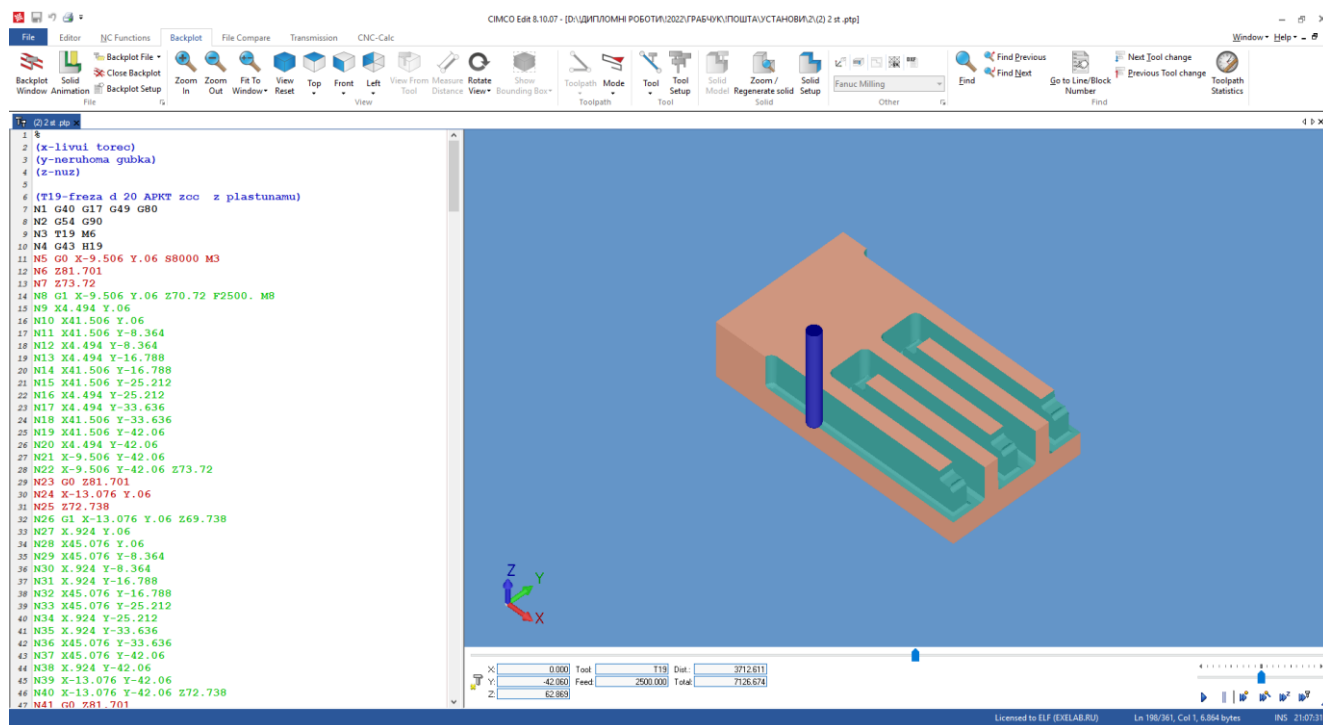


Рисунок 2.6 - Фрагмент редагування керуючої програми в CIMCO Edit

CIMCO Edit забезпечує порівняння двох файлів, даючи можливість користувачеві швидко знайти відмінності у кодї управляючої програми чи постпроцесора. CIMCO Edit підтримує твердотільну візуалізацію коду керуючої

програми з перевіркою на зіткнення та заріз, що надзвичайно корисно для технологів-програмістів.

В ході виконання дипломної роботи розроблено керуючі програми для виготовлення деталі «корпус» на верстаті HAAS VF-3 фрагменти яких представлені у додатку.

2.9 Висновок

На основі інженерного аналізу встановлено, що існуючий технологічний процес забезпечує якісні показники оброблення деталі «корпус», хоча продуктивність праці є низькою, а собівартість високою. На основі проведених розрахунків, розроблено вдосконалений технологічний процес виготовлення деталі «корпус» із застосуванням верстату з ЧПК фірми HAAS (США) VF-3.

Ефективність застосування верстату HAAS VF-3 досягається за рахунок зменшення витрат на технічне оснащення, втрат від браку, скорочення виробничих площ, підвищення режимів різання та концентрації операцій.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Технологічне оснащення для верстатів з ЧПК

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується високим рівнем автоматизації та гнучкості, за рахунок використання верстатів з ЧПК та систем автоматизованого проектування на різних етапах виробництва виробів.

Вибір верстатних пристосувань залежить від форми, габаритних розмірів та технічних вимог, що застосовуються до деталей, що оброблюються, а також від типу виробництва та програми випуску виробів.

До верстатних пристосувань для верстатів з ЧПК пред'являються специфічні конструктивні вимоги. Одна з основних особливостей верстатів з ЧПК - їх висока точність. Точні пристосування роблять вплив на підвищення точності оброблення, оскільки погрішність, що виникає при базуванні заготовки в пристосуванні, є однією з основних складових сумарної погрішності оброблення. Отже, пристосування до верстатів з ЧПК повинні забезпечувати велику точність установки заготовок, чим пристосування до універсальних верстатів. Для цього необхідно виключити погрішність базування шляхом поєднання баз, погрішність закріплення заготовок має бути зведена до мінімуму, точки прикладення затискних сил треба вибирати так, щоб по можливості повністю виключити деформацію заготовок. Точність виготовлення пристосувань до верстатів з ЧПК має бути значно вищою, ніж пристосувань до універсальних верстатів. Похибка установки пристосувань на верстатах має бути мінімальною [18-21].

Верстати з ЧПК мають підвищену жорсткість. Отже, верстатні пристосування для них не повинні знижувати жорсткість системи ВПД при використанні повної потужності верстатів, тобто жорсткість пристосувань до верстатів з програмним управлінням має бути вища за жорсткість пристосувань до універсальних верстатів. Оскільки при обробці на верстатах з ЧПК програмовані переміщення верстата і інструменту задаються від початку відліку координат, у ряді випадків пристосування повинні забезпечувати повну орієнтацію заготовок

відносно установчих елементів пристосування, тобто повинні позбавити її усіх ступенів свободи. При цьому потрібне також повне базування пристосувань на верстаті для забезпечення їх точної орієнтації відносно нульової точки верстата.

Важлива особливість верстатів з ЧПК - обробка максимального числа поверхонь з однієї установки заготовки. Пристосування мають бути спроектовані так, щоб установчі елементи і затискні пристрої не перешкоджали підходу різального інструменту до оброблюваних поверхонь заготовки, забезпечуючи при цьому її надійне закріплення. Конструкції пристосувань повинні забезпечувати швидку переналадку, орієнтацію і закріплення на верстаті, а також легке від'єднання і приєднання їх пневмо- або гідросистеми до джерела тиску.

Спрощення конструкцій і здешевлення пристосувань разом з різким скороченням їх числа забезпечує істотну економію витрат на підготовку виробництва. Окрім цього скорочуються витрати на ремонт пристосувань і їх зберігання.

Стандартизація уніфікованих агрегатів, вузлів, деталей і конструкції універсальних і спеціалізованих пристосувань створює передумови для їх централізованого виготовлення, що значною мірою знижує їх собівартість, підвищує точність і довговічність, внаслідок чого підвищується економічна ефективність застосування верстатів з ЧПК за рахунок скорочення капітальних вкладень на приміщення і устаткування інструментальних цехів і вивільнення кваліфікованого робочого інструментальника [18-21].

На верстатах з ЧПК найдоцільніше застосовувати системи оборотних переналагоджуваних пристосувань, які не вимагають витрат часу і засобів на їх проектування і виготовлення.

Верстати з ЧПУ вигідно відрізняються від традиційних верстатів-автоматів своєю гнучкістю, тобто можливістю швидкого переналагодження, тому що остання полягає лише в зміні програмоносія. Однак найбільша частина підготовчо-заключного часу витрачається не на переналагодження верстата, а на зміну оснащення - пристосувань та комплекту інструментів. Отже, для скорочення

часу переналагодження верстатів пристрій повинен забезпечувати можливість їхньої швидкої зміни або переналагодження[18-21].

Верстати, с ЧПУ є основним засобом автоматизації дрібно- і середне -серійного виробництва. На таких верстатах найбільш ефективно застосовувати переналагоджувані пристрої; які забезпечують обробку широкої номенклатури заготовок шляхом їхнього переналагодження або перекомпонування.

Спеціальні пристрої доцільно застосовувати лише як виключення при неможливості застосування переналагоджуваних.

3.1.1 Універсально-збірні пристрої

Для скорочення витрат на підготовку виробництва нових деталей в одиничному і дрібносерійному виробництві використовують переналагоджувані верстатні пристосування багаторазового застосування [18-21]. До цієї групи пристроїв відносяться універсально-збірні пристрої (УСП) (рис.3.1).



Рисунок 3.1- Набір деталей та складальних одиниць УСП

Елементи УСП виготовляють централізовано і застосовують у всіх галузях машинобудування та приладобудування. Особливість технологічної підготовки

виробництва з застосуванням УСП полягає в тому з універсального набору деталей і складальних одиниць збирається пристосування для виконання конкретної операції. Після обробки заданої партії заготовок пристосування розбирають, а складові його елементи можуть бути використані для збирання нових пристосувань, призначених для обробки інших заготовок. При цьому відпадає необхідність у виконанні всього комплексу робіт, що відносяться до проектування та виготовлення спеціальних пристроїв. Технічна та економічна обґрунтованість застосування УСП пояснюється тим, що цикл складання пристосування з елементів УСП за часом у 40...50 разів і за трудомісткістю в 10...15 разів менший у порівнянні з циклом виготовлення спеціальних пристроїв. Крім того, елементи УСП характеризуються високою оборотністю, тобто. кожен елемент УСП застосовується у різних компоновках від 60 до 100 разів протягом року.

Термін служби основних елементів УСП сягає 12...15 років, що визначає низьку собівартість компоновок УСП.

Таким чином, застосовувати пристосування УСП слід у тих випадках, коли спеціальне оснащення використовувати недоцільно в силу високої вартості та великого циклу проектування та виготовлення.

Елементи пристроїв УСП з'єднуються між собою за схемою «шпонка-шпонковий паз» і фіксуються болтами, шпильками, гвинтами та гайками. Залежно від ширини Т-подібного шпонкового пазу виділяють три серії таких пристроїв: УСП-8, УСП-12, УСП-16.

3.2 Проектування верстатного пристрою

Відповідно до завдання необхідно спроектувати переналагоджувані лещата для закріплення заготовки деталі «корпус», виготовленої з сплаву АК5, на верстаті HAAS VF-3 операції 005, установ 1 [19].

3.2.1 Вибір схеми базування та способу закріплення деталі в пристрої

Деталь «корпус» базується по торцю і циліндричній поверхні. Установочними елементами лещат вибрано призми закріплені на губках і упор. Спосіб закріплення деталі – затискання між двома рухомими губками лещат які самоцентруються (рис.3.2).

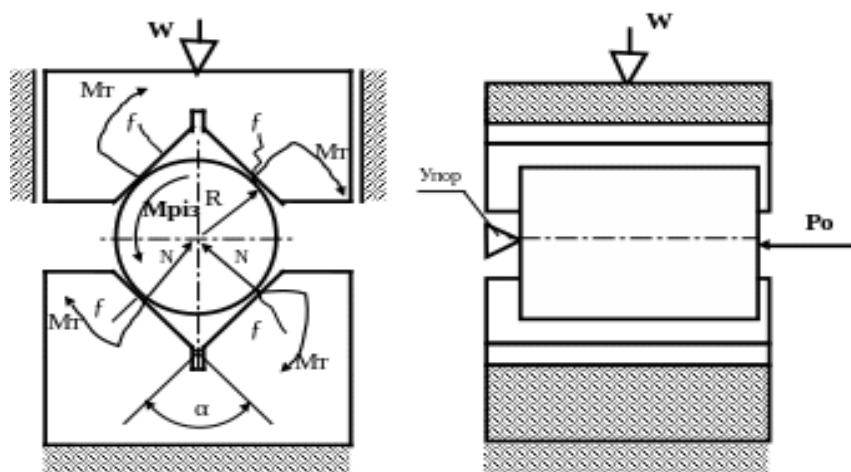


Рисунок 3.2 - Схема затиску заготовки у двох призмах з упором

3.2.2 Розрахунок сили затиску

Для свердління отвору уздовж осі циліндрична заготовка $D=80$ мм встановлена в призму (рис.3.2). Осьове зусилля P , що діє на заготовку буде сприйматися упором, а момент різання M - моментами тертя в місцях контакту заготовки з робочими поверхнями призми та з затискним елементом .

Отже,

$$kM = WRf_1 + WR \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} f_2.$$

Звідси,

$$W = \frac{kM}{Rf_1 + \frac{Rf_2}{\sin \alpha/2}}.$$

Значення коефіцієнта тертя для різних випадків установки заготовок знаходять у відповідних довідкових посібниках.

При закріпленні заготовки, встановленої у лещатах, затискачами (рис.3.3) момент різання M , що виникає при свердлуванні, врівноважується моментом сил тертя, які виникають на поверхнях призматичних губок лещат.

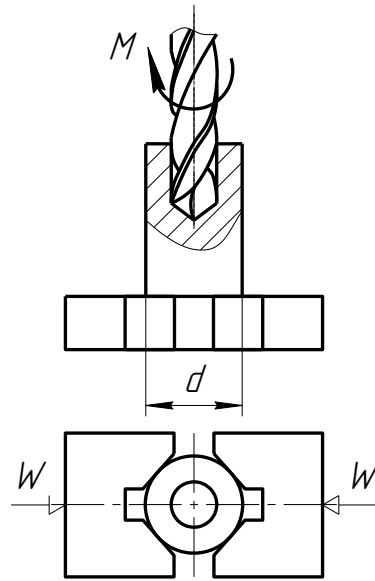


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема

Без урахування осьового зусилля подачі умов рівноваги заготовки матиме вигляд:

$$W = \frac{kM \sin \alpha / 2}{fD},$$

де M - крутний момент, який створюється свердлом $d=0.025$ м в процесі свердління. Він розрахований в розділі 2; $M=26,14$ Н×м;

α - кут призми; $\alpha=140$ град;

k - коефіцієнт запасу по утриманню заготовки; $k=1,5$;

f - коефіцієнт тертя; $f=0,16$;

M - крутний момент, який створюється свердлом $d=0,025$ м;

$\sin 70^\circ = 0,94$.

$$W = \frac{kM \sin \alpha / 2}{fD} = \frac{1,5 \times 9,98 \times 0,94}{0,16 \times 0,025} = 3455 \text{ Н.}$$

Розрахуємо розміри приводу пристрою - гвинто - важільний затиск.

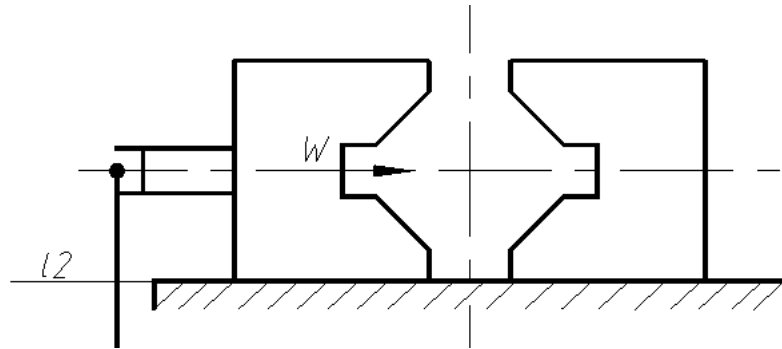


Рисунок 3.4 - Кінематична схема пристрою

Визначаємо необхідну силу на ключі Q . Затиск здійснюється за допомогою гвинта М16 та ключа. Знайдемо силу, яку треба прикласти до рукояті ключа, щоб закріпити заготовку гвинтом. Розрахунок проводимо за формулою:

$$Q = \frac{W \left[r_{cep} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \gamma_{np}) + \frac{1}{3} \cdot f \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right]}{L},$$

де $\alpha = 2^\circ 56'$ - кут підйому різьби;

φ_{np} - приведений кут тертя, визначається за формулою:

$$\varphi_{np} = \operatorname{arctg} \frac{f}{\cos \alpha} = \operatorname{arctg} \frac{0.15}{\cos 30^\circ} \approx 9^\circ 50',$$

$L = 150$ мм - довжина ключа;

$r_{cep} = 7,45$ мм - середній радіус різьби М16;

діаметр шайби $D = 25$ мм; діаметр отвору в шайбі $d = 16$ мм.

$$Q = \frac{3455 \left[7,45 \cdot \operatorname{tg}(2^\circ 56' + 9^\circ 50') + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \frac{25^3 - 16^3}{25^2 - 16^2} \right]}{150} = 74 \text{ Н.}$$

Згідно вимог техніки безпеки сила, яку при затиску може прикладати робітник, не може бути більше чим $P = 160$ Н.

Висновок. Гвинто-важільний затиск за допомогою гвинта М16 та ключа, забезпечує надійне затискання заготовки в лещатах, оскільки $160 \text{ Н} > 74 \text{ Н}$.

3.2.3 Розрахунок елементів пристрою на міцність

Номинальний діаметр гвинта для гвинтового затискача визначаємо за формулою [19]:

$$d = C \sqrt{\frac{W}{\sigma}}$$

де $C = 1,4$ - коефіцієнт для основної метричної різьби;

W - сила затискача;

σ - напруження розтягування; для гвинтів із сталі 45 з врахуванням зносу різьби $\sigma = 100$ МПа.

Проводимо розрахунок діаметра різьби:

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{3455}{100}} = 8,23 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр гвинта М16. Маємо суттєвий запас міцності.

3.1.4 Розрахунок пристрою на точність

Похибку виготовлення пристрою розраховуємо за формулою [18, 19]:

$$\varepsilon_{np} \leq T - K \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{заст}^2 + \varepsilon_{зм}^2 + \varepsilon_n^2 + (K_2 W^2)},$$

де $T = 0,2$ мм - допуск на розмір, що виконується;

K - коефіцієнт, що враховує можливе відступлення від нормального розподілення окремих складових.;

$$K = 1,2;$$

K_1 - враховується при $\varepsilon_{\delta} = 0$;

Для серійного виробництва $K_1 = 0,8$;

$$K_2 = 0,7;$$

$\varepsilon_{\delta} = 0$ похибка базування

ε_3 - похибка закріплення. $\varepsilon_3 = 0,09$ мм.

$$\varepsilon_{уст} = 0,02 \text{ мм.}$$

ε_{zn} - похибки, що виникають в результаті зношування деталей пристрою. $\varepsilon_{zn} = 0,02$ мм.

ε_n - похибка зміщення ріжучого інструменту.

Так, як відсутні направляючі елементи пристрою то похибка

$\varepsilon_n = 0$.

W - значення похибки обробки, виходячи з економічної точності для даного методу, $W = 0,04$ мм.

Розрахункова похибка виготовлення пристрою дорівнює:

$$\varepsilon_{np} = 0,2 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0,09^2 + 0,02^2 + 0^2 + (0,7 \cdot 0,04)^2} = 0,035 \text{ мм.}$$

Проведені розрахунки показують, що похибка виготовлення пристрою незначна та задовольняє потребу до вимог точності деталі, що оброблюється у даному пристрої.

3.1.5 Розробка технічних умов на пристрій, компонування та опис його роботи

Основні технічні вимоги до пристрою пролягають у наступному (рис.3.5):

- 1) максимальне зусилля затиску 12700 Н;
- 2) неперпендикулярність площини губок до основи пристрою не більше 0.02 мм на 100 мм довжини;
- 3) не допускається заїдання рухомих частин.

Пристрій складається з корпусу поз. 1 по напрямних якого за допомогою гвинта поз. 4 рухаються дві призми поз. 2. Рух на призми поз. 2 передається від гвинта 4 через гайки поз. 5 і поз. 6.

Деталь встановлюється в призми поз. 2 до упору торцем в корпус лещат поз. 1. Обертотом рукоятки гвинта поз. 4 гайки поз. 5 і поз. 6 рухаються на зустріч одна одній, рух від гайок передається на призми, які своїм рухом затискають деталь, базуючи її.

Обертотом рукоятки гвинта поз. 4 в зворотному напрямку система робить зворотній рух і звільняє деталь. Деталь знімаємо і замінюємо на необроблену.

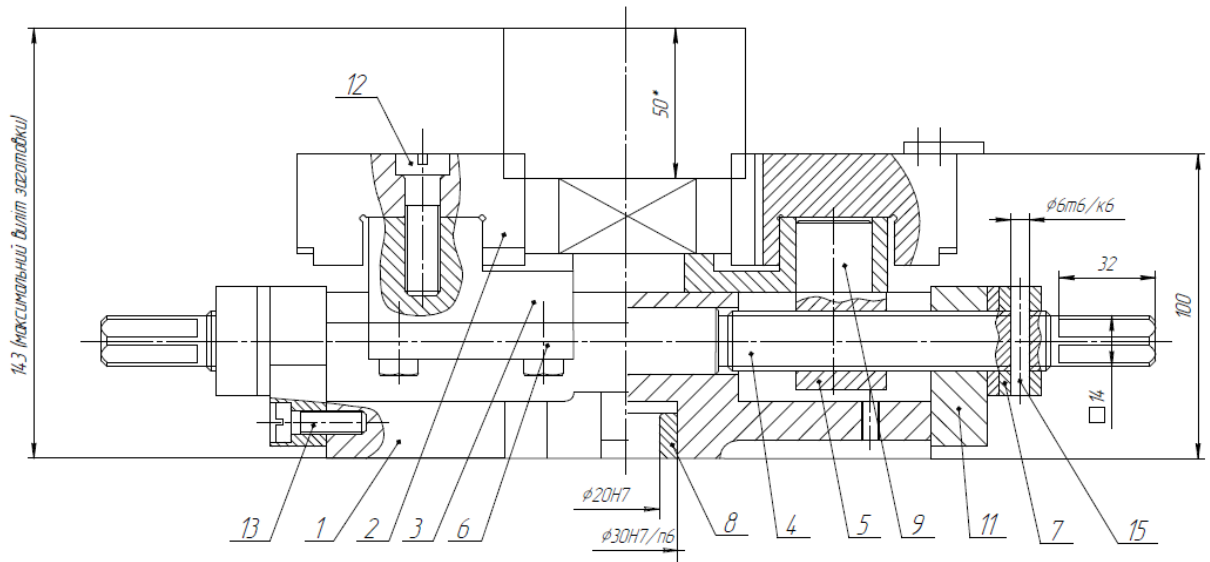


Рисунок 3.5 - Загальний вигляд переналагоджуваних лещата

3.3 Розрахунок і проектування контрольно-вимірювального пристрою для контролю паралельності площин

3.3.1 Технічні умови та вимоги креслення, які підлягають контролю

Для деталі корпус згідно технічних умов з креслення контролю підлягає паралельність протилежних площин, по яким деталі вузла встановлюються у виробі. Величина непаралельності площин згідно вимог з креслення дорівнює 0,025 мм.

3.3.2 Вибір схеми вимірювання

Вибираємо схему контролю по [19], яка зображена на рис. 3.6.

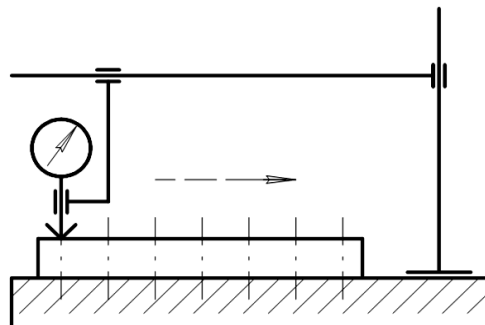


Рисунок 3.6 - Схема контролю параметра непаралельності площин

3.3.3 Розрахунок пристрою на точність

Спочатку визначаємо допустиму похибку вимірювання за формулою [20]:

$$\varepsilon_{\text{дон}} = 0,3T,$$

де T -допуск на параметр, який контролюється $T = 0,025$ мм;

$$\varepsilon_{\text{дон}} = 0,3T = 0,3 \cdot 0,025 = 0,0075 \text{ мм.}$$

Визначаємо фактичну похибку вимірювального пристрою за формулою:

$$\varepsilon_{\phi} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2 + \varepsilon_{\text{прил}}^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2},$$

де ε_{δ} - похибка базування деталі, $\varepsilon_{\delta} = 0$ (технологічна база співпадає з конструкторською);

$\varepsilon_{\text{пр}}$ - похибка виготовлення пристрою, $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,005$ мм;

$\varepsilon_{\text{зн}}$ - похибка зношення пристрою, $\varepsilon_{\text{зн}} = 0,005$ мм;

$\varepsilon_{\text{прил}}$ - похибка контрольно - вимірювального приладу:

$$\varepsilon_{\text{прил}} \approx \frac{Ц}{2},$$

де $Ц$ - ціна поділки контрольно - вимірювального приладу.

Для контролю параметра непаралельності вибираємо індикаторну головку важільно - зубчастого типу 2ИГ ГОСТ 18833 - 73, ціна поділки якої $Ц = 0,002$ мм.

Тоді похибка приладу визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\text{прил}} \approx \frac{0,002}{2} = 0,001 \text{ мм,}$$

Фактична похибку вимірювального пристрою:

$$\varepsilon_{\phi} = \sqrt{0^2 + 0,005^2 + 0,005^2 + 0,001^2} = 0,0051 \text{ мм}$$

Отже фактична похибка оброблення не перевищує допустиму $\varepsilon_{\phi} < \varepsilon_{\text{дон}}$ ($0,0051 < 0,0075$).

3.3.4 Опис конструкції і роботи пристрою

Деталь «корпус» кладуть площиною на вимірювальну плиту. До протилежної площини деталі підводимо індикатор і налагоджуємо його при

дотиканні ніжки до поверхні на «0» (створюємо попередній натяг) і переміщуючи деталь по плиті поступово фіксуємо показники індикатора у декількох положеннях деталі. Визначивши найбільше відхилення по індикатору проводимо порівняння з допустимим відхиленням за вимогами креслення.

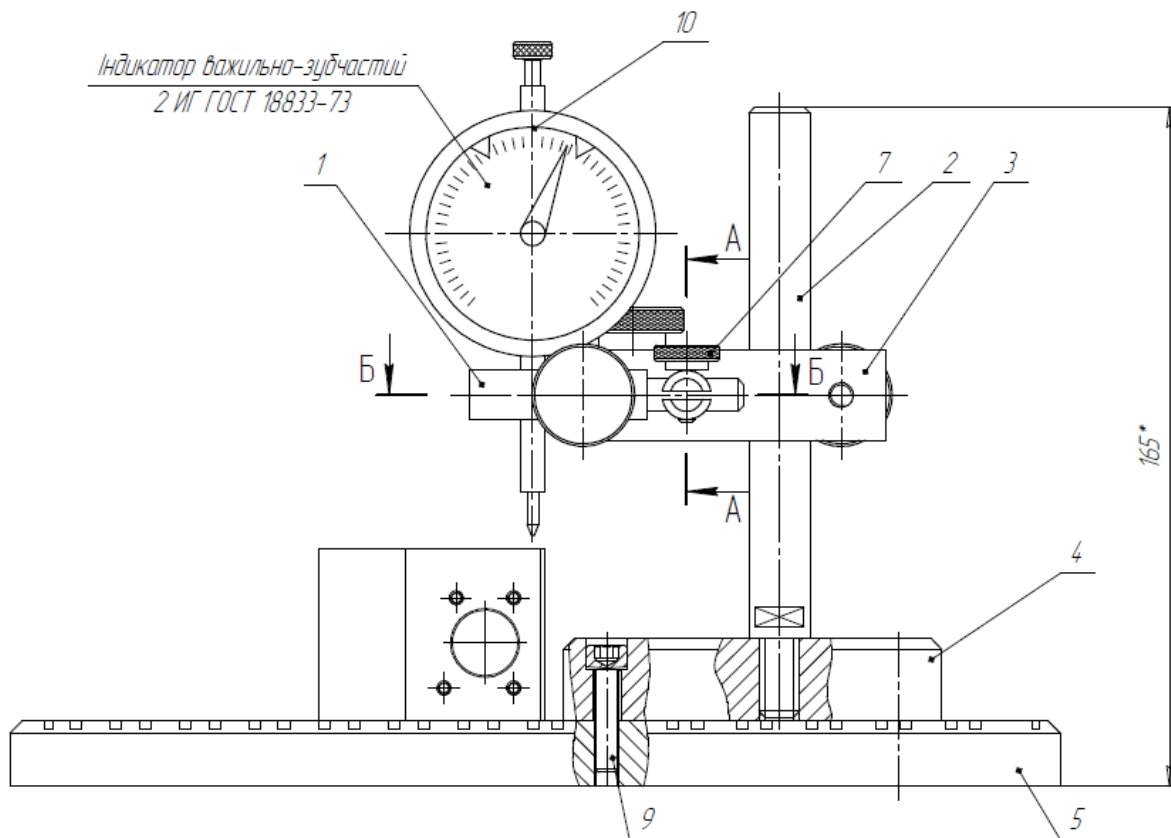


Рисунок 3.7 - Загальний вид контрольного пристрою

3.4 Проектування різального інструменту

3.4.1 Аналіз конструкцій фрез кінцевих для оброблення заданого типу деталей

Алюмінієві сплави достатньо розповсюджені у машинобудуванні, літакобудуванні, приладобудуванні тощо. Тому фрезерний інструмент є затребуваним при виготовленні різноманітної форми деталей [3].

Для використання їх при обробці алюмінієвих сплавів, через специфічні властивості матеріалу, до інструменту висуваються відповідні вимоги до

геометрії різальної частини. Розглянемо декілька конструкцій фрезерних інструментів для оброблення алюмінієвих сплавів [3-6].

Фреза ECA200B38-2C20 (рис. 3.8) - кінцева фреза для оброблення алюмінієвих сплавів діаметром 20 мм. Конструкція фрези - монолітна, з довжиною різальної частини 38 мм. Має два різальні зуби з кутом спіралі гвинтової поверхні 45° . Хвостова частина інструменту виконана як зовнішня циліндрична поверхня. Виготовлена фреза з твердого сплаву IC08. Даний сплав являється універсальним, без покриття та з дрібно зернистою основою. При обробці даною фрезою рекомендується використовувати низькі або середні швидкості різання.

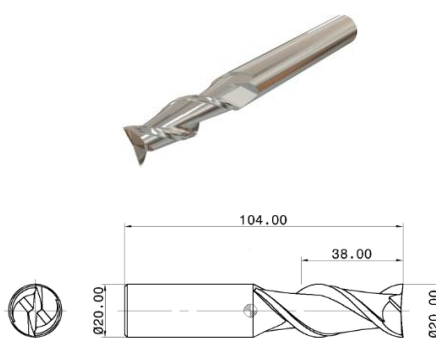


Рисунок 3.8 - Кінцева фреза ECA200B38-2C20

Фреза ECA-B-3 20-38W20-104 (рис.3.9) - кінцева фреза для оброблення алюмінієвих сплавів діаметром 20 мм. Дана фреза подібна до інструменту, що зображений на рис. 1.2, окрім кількості різальних зубів (їх в даному інструменті чотири) та способі закріплення інструменту в верстаті за допомогою хвостовика Weldon.

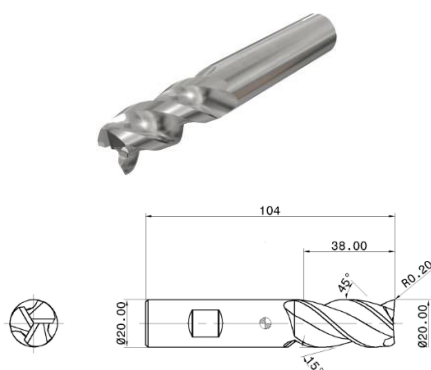


Рисунок 3.9 - Кінцева фреза ECA-B-3 20-38W20-104

Аналізуючи конструкції кінцевих фрез, що зображені на рис. 3.8 та рис. 3.9, можна прийти до висновку, що вибірки та кишені в алюмінієвих сплавах можна обробляти інструментами з різною кількістю різальних зубів. Їх кількість буде визначатись з конструктивної точки зору в залежності від розмірів інструменту. Цікавим рішенням є використання спеціальних кінцевих фрезерних головок.

Фрезерна головка MM EA200H20R2.5CF-3T12 (рис. 3.10) - змінний різальний елемент інструменту, котрий має змінний кут спіралі 40° та три різальних зуба. Дана головка може бути використана як для чорнової так і для чистової оброблення деталей з алюмінієвих сплавів, для котрих виникнення надлишкових вібрацій при обробці є критичним. Конструкція головки забезпечує гасіння виникаючих вібрацій при різанні.



Рисунок 3.10 - Фрезерна головка MM EA200H20R2.5CF-3T12

Фрезерна головка MM EA200B12R4.0-3T12 (рис. 3.11) - змінний різальний елемент інструменту, котрий має змінний кут спіралі 45° та три різальних зуба. Дана головка являється універсальним різальним інструментом при обробці вибірок та кишень в алюмінієвих деталях.

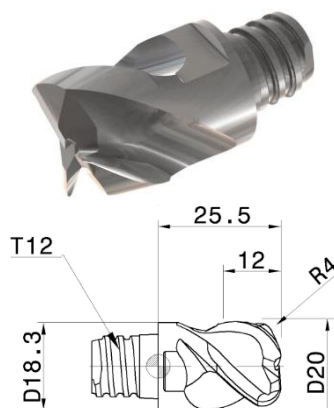


Рисунок 3.11 - Фрезерна головка MM EA200B12R4.0-3T12

Особливістю використання фрезерних головок є використання додаткового обладнання, а саме хвостовиків. З'єднання відбувається завдяки метричній різьбі та базуванню по торцевій поверхні.

Розглянемо конструкції хвостовиків, котрі можуть використовуватись для поєднання з фрезерними головками.

Хвостовик MM S-A-L100-C40T15 (рис.3.12) являє собою циліндр, в котрому виконано різьбовий отвір під загвинчування фрезерної головки.

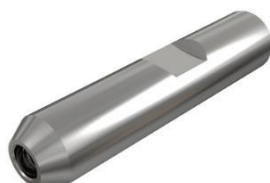


Рисунок 3.12 - Хвостовик MM S-A-L100-C40T15

Хвостовик MM S-A-H050-SK 40-T15 (рис. 3.13) має складнішу конструкцію на відмінну від хвостовик, що зображений на рис. 3.12.

Даний хвостовик також має різьбовий отвір, куди вгвинчується фрезерна головка. Закріплюється хвостовик у пристосування верстату за допомогою конічної поверхні. Для додаткової фіксації, в конусі виконано різьбовий отвір. Також, вздовж осі всього хвостовика виконано отвір для підводу мастило охолоджувальної рідини. Робочу та затискну частини хвостовика розділяє зовнішня циліндрична поверхня з виконаними пазами, для можливості зняття заклинившого хвостовика з пристосування верстату.

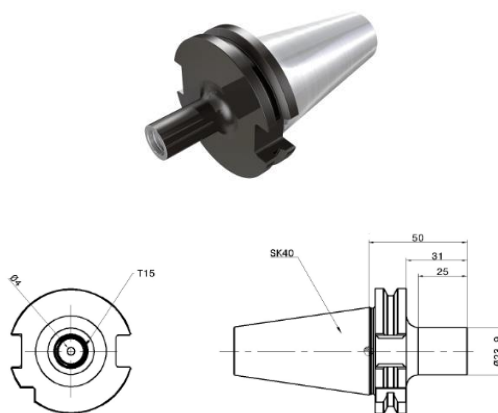


Рисунок 3.13 - Хвостовик MM S-A-H050-SK 40-T15

Одним із різновидів простих конструкцій хвостовиків є циліндричні ступінчаті хвостовики, один із котрих зображений на рис. 3.14

Хвостовик MM S-A-L175-C25-T15 (рис.3.14) являється удосконаленням конструкції MM S-A-L100-C40T15 (рис. 3.12).



Рисунок 3.14 - Хвостовик MM S-A-L175-C25-T15

Ступінчаста конструкція дозволяє виконати тільки ту частину хвостовика, котра контактує з пристосування верстату достатньо точною ($\varnothing 25$ мм), а решту циліндричних поверхонь - достатньою. Дана конструкція більш економічна у виготовленні, оскільки затрати на остаточні операції менші.

Достатньо розповсюдженим є використання в інструментах в якості різального елемента змінної твердосплавної пластинки. Не виключення і фрези для оброблення вибірок та кишень в алюмінієвих сплавах. Розглянемо декілька конструкцій.

Фреза кінцева HM90 EAL-D40-C32-L160-15 (рис. 3.15) має в якості різального елемента дві змінні твердосплавні пластинки, котрі пригвинчуються до корпусу за допомогою гвинтів. Корпус виконаний у вигляді ступінчастої циліндричної поверхні з стружковими канавками. Фреза має в своїй конструкції отвори під подачу мастило охолоджувальної рідини в зону оброблення.



Рисунок 3.15 - Фреза кінцева HM90 EAL-D40-C32-L160-15

Фреза кінцева HM90 FAL-D050-22-16BR (рис.3.16) також має в своєму складі різальні твердосплавні пластинки (3 штуки). Дана конструкція інструменту має великий діаметр оброблення й тому доцільність використання лише при великих розмірах вибірок та кишень.



Рисунок 3.16 - Фреза кінцева HM90 FAL-D050-22-16BR

Для зменшення надлишкової ваги інструменту, в корпусі фрези виконаний центральний отвір. Використання такого інструменту можливе при наявності спеціальних хвостовиків.

Аналізуючи різноманітні конструкції кінцевих фрез зі змінними твердосплавними пластинками, можна відзначити один подібний момент, а саме форма різальної пластинки. Розглянемо конструкцію фрези TE90XEV-HSK63A-16 (рис. 3.17).



Рисунок 3.17- Фреза кінцева TE90XEV-HSK63A-16

Дана конструкція є поєднанням двох попередніх конструкцій різальних інструментів (рис. 3.15 та рис. 3.16) й, аналізуючи конструкцію, може бути застосована для оброблення достатньо габаритних вибірок та кишень.

Поєднанням конструкцій різальних інструментів, а саме змінних різальних головок та фрез зі змінними різальними пластинками являються змінні різальні головки зі змінними різальними пластинками.

На рис. 3.18 та рис. 3.19 зображені саме такі інструменту, а саме TE90XEV-M-16 та TE90XEV 340-M16-6 відповідно.

Такі головки при їх використанні потребуються наявності спеціальних хвостовиків з виконаною внутрішньою різьбою для їх посадки.



Рисунок 3.18 - Фрезерна головка TE90XEV-M-16



Рисунок 3.19 - Фрезерна головка TE90XEV 340-M16-6

Розглянемо різальні пластинки HM90 APCR 220608R-P (рис. 3.20) та HM90 APCR 160540R-P (рис. 3.21). Як видно з конструкції даних пластинок, вони мають ромбічну форму з кутом при вершині рівним 70° . Дані пластинки мають отвір з виконаним тороїдальним отвором, для контакту з конічною поверхнею гвинта.



Рисунок 3.20 - Різальна пластинка HM90 APCR 220608R-P



Рисунок 3.21 - Різальна пластинка HM90 APCR 160540R-P

Як видно з рис. 3.22 - рис. 3.25, існує безліч подібних конструкцій різальних пластинок. Геометрія для оброблення алюмінієвих сплавів має ті ж самі постійні значення. Змінюється тільки поверхня для стружкодрібнення. Кожна компанія-виробник різальних пластинок намагається знайти своє бачення та запам'ятатись не тільки якістю та точністю продукту, але і оригінальністю.

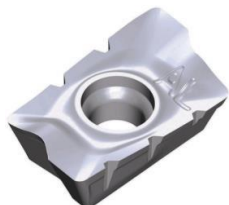


Рисунок 3.22 - Різальна пластинка APCT 1705 PER-SAL

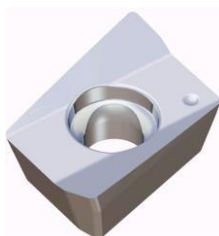


Рисунок 3.23 - Різальна пластинка AXCT 0602 R-S



Рисунок 3.24 - Різальна пластинка R775.44-2204031-RA

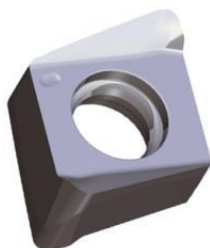


Рисунок 3.25 - Різальна пластинка 4NHT 11-AL

3.5 Висновок

В конструкторському розділі виконано проектування технологічної оснастки. Розроблено конструкції пристосувань для виконання операції механічного оброблення на верстаті HAAS VF-3 та проведені необхідні розрахунки. Виконано проектування контрольного пристрою та проведено розрахунок його на точність. Спроектовано різальний інструмент - фрезу кінцеву збірну із пластинами твердого сплаву.

4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Система автоматизованого проектування COLIDWORKS

Актуальним є завдання використання сучасних комп'ютерних технологій для інженерного аналізу виробу [23-25].

Програма COLIDWORKS - це система автоматизованого проектування, що використовує графічний інтерфейс користувача Microsoft Windows і дозволяє інженерам-проектувальникам швидко відображати свої ідеї в ескізі, експериментувати з елементами і розмірами, а також створювати моделі і докладні креслення.

COLIDWORKS дозволяє забезпечити розробку виробів різноманітної складності та провести інженерний аналіз за допомогою додаткових пакетів COLIDWORKS Simulation, COLIDWORKS FlowSimulation, COLIDWORKS Motion. Саме за допомогою програмного продукту COLIDWORKS було спроектовано твердотільну модель деталі «корпус». Після створення моделі можна перейти до інженерного аналізу [23-25].

COLIDWORKS Simulation - це система аналізу конструкцій, повністю інтегрована з COLIDWORKS. Програма COLIDWORKS Simulation забезпечує рішення по моделюванню для лінійного та нелінійного статичного аналізу, аналізу частоти, стійкості, температурного аналізу, втоми, судини тиску, випробувань на ударну навантаження, лінійного та нелінійного динамічного аналізу, а також аналізу оптимізації.

За підтримки швидких і точних вирішальних програм COLIDWORKS Simulation дозволяє інтуїтивно вирішувати більш масштабні завдання при проектуванні.

Програмне забезпечення використовує метод скінченних елементів (МСЕ). МСЕ - це чисельний метод аналізу технічних конструкцій. МСЕ прийнятий в якості стандартного методу аналізу завдяки його універсальності і придатності для роботи на комп'ютерах.

4.2 Аналіз конструкції деталі «корпус» у середовищі COLIDWORKS в модулі Simulation

За допомогою програмного продукту COLIDWORKS Simulation був проведений комплекс досліджень деталі «корпус». В результаті інженерного аналізу COLIDWORKS Simulation сформулював відповідні звіти, окремі фрагменти яких представлені на скриншотах.

Метою досліджень є інженерний аналіз конструктивних параметрів деталі «корпус» на міцність та переміщення елементів деталі при впливі робочих навантажень. Для виконання аналізу конструкції деталі «корпус» рекомендується використовувати програмне середовище COLIDWORKS.

Використовуючи середовище COLIDWORKS та модуль Simulation можна проводити інженерні розрахунки і моделювати методом аналізу кінцевих елементів різні впливи навколишнього середовища на виріб [23-25]. Основними особливостями модуля Simulation є:

- 1) лінійний аналіз;
- 2) втомний аналіз металу;
- 3) нелінійний аналіз;
- 4) теплової аналіз;
- 5) частотний аналіз;
- 6) аналіз виробів з пластмаси і гуми;
- 7) динамічний аналіз тощо.

Моделювання методом аналізу кінцевих елементів (FEA) - це дискретизація проєктованих компонентів в тверде тіло, оболонку або балковий елемент, що використовує лінійний аналіз напружень для визначення реакції деталей і вузлів під впливом: - сили; - тиску; - прискорення; - температури. - контакт між компонентами [23-25].

Будь-який вид аналізу здійснюється у декілька етапів. Для здійснення розрахунків необхідно здійснити наступні кроки:

- 1) побудувати тривимірну модель виробу;
- 2) згенерувати кінцево-елементну сітку;
- 3) визначити матеріал моделі;
- 4) накласти граничні умови, що визначають суть фізичного явища, що підлягає аналізу;
- 5) виконати розрахунок;
- 6) проаналізувати результати.

Також можна врахувати напруження, що виникають внаслідок температурного розширення чи стиснення матеріалу або деформації конструкції на величину відомих переміщень. За допомогою програмного продукту COLIDWORKS користувач може оцінити міцність розробленої ним конструкції за напруженнями, що допускаються, визначити найменш надійні місця і внести необхідні зміни для оптимізації конструкції виробу [23-25].

Тривимірну модель створюємо за допомогою програмного продукту COLIDWORKS, яка представлена на рис. 4.1.

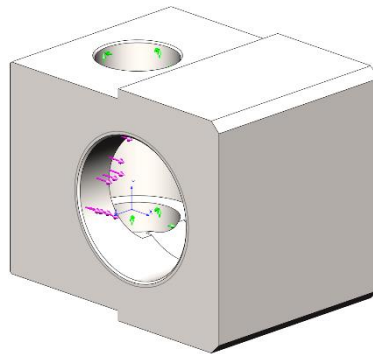


Рисунок 4.1 - Загальний вигляд тривимірної моделі деталі «корпус»

4.2.1 Розбиття моделі деталі «корпус» на скінчені елементи

Попередньо визначаємо параметри дискретизації - середній розмір скінченого елемента та, при необхідності, зони з більш мілкою сіткою. Крім того, можливо дозволити системі самостійно керувати розмірами комірок у зонах із різкою зміною геометрії.

У нашому випадку концентратором зусиль у деталі «корпус» будуть місця закріплення її болтами та місце центрального отвору де встановлюється підшипник.

Тому, після успішного створення 3D моделі на екрані монітора з'явиться діалог управління настройками генерації кінцево-елементної сітки, після закінчення якого утворюється сіткова модель з тетраедрів, апроксимуючу тривимірну модель виробу [23-25]. Схему сітки розбиття деталі «корпус» на скінченні елементи зображено на рис. 4.2.

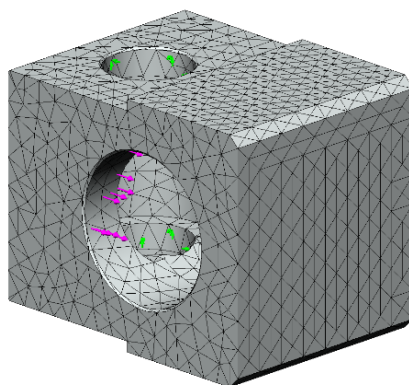


Рисунок 4.2 - Сітка деталі «корпус», побудована методом кінцевих елементів

Для того, щоб здійснювати які-небудь розрахунки з твердотільною моделлю деталі необхідно визначити матеріал, з якого вона виготовлена.

У COLIDWORKS аналізі є дві можливості завдання матеріалу для виконання аналізу [23-25]. За умовчанням, в розрахунку використовуються характеристики матеріалу «з операції». Призначення матеріалу для тривимірної моделі здійснюється у вікні властивостей операції, або з бази даних матеріалів. Доступ до бази матеріалів Аналізу для поточної задачі здійснюється по команді «Анализ-Материал» або з контекстного меню дерева задач, що відображається у вікні задач. Призначимо для нашої моделі матеріал «Сплав АК6» з бази матеріалів COLIDWORKS. Для визначення закріплень в COLIDWORKS в аналізі передбачені три команди: «Полное закрепление», «Частичное закрепление» і «Контакт» [23-25].

Команда «Анализ → Ограничение → Полное закрепление» застосовується до

вершин, граней і ребер моделі. Вона визначає, що даний елемент тривимірного тіла повністю нерухомий, тобто зберігає своє первинне розташування і не міняє свого положення під дією прикладених до системи навантажень [23-25]. Покажемо нерухому грань моделі - в даному випадку використаємо базову поверхню деталі - отвори.

4.2.2 Визначення переміщень

Навантаження буде прикладатиметься до внутрішньої поверхні отвору деталі «корпус», імітуючи дію силу від крутного моменту та осьового зусилля черв'ячної передачі під час роботи деталі у вузлі . Окремі фрагменти результатів інженерного аналізу представлені на рисунках (рис. 4.3 та 4.4).

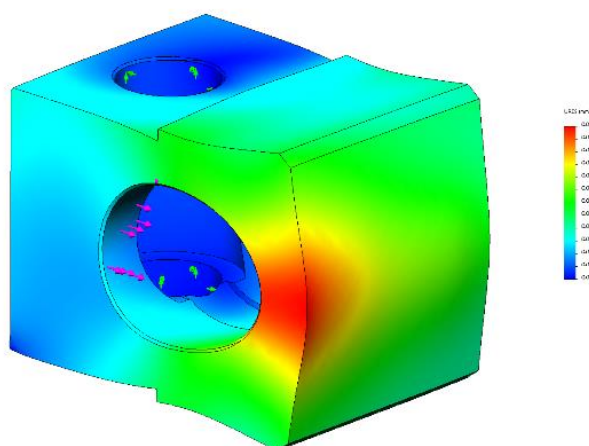


Рисунок 4.3 - Переміщення елементів деталі «корпус» під навантаженням

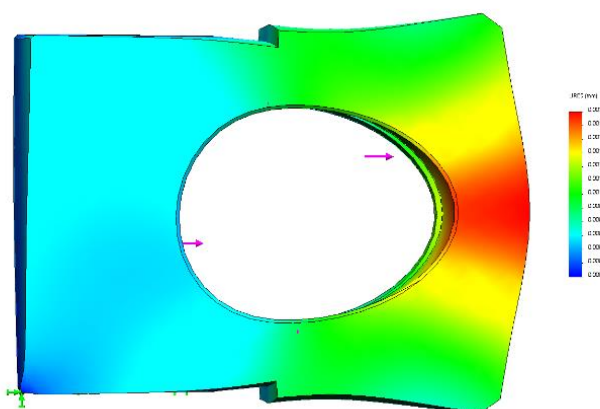


Рисунок 4.4 - Переміщення елементів деталі «корпус» під навантаженням
(вид з боку)

4.2.3 Розрахунок на міцність

Розрізняють наступні навантажені стани [23-25]:

а) лінійний (з однією віссю) - коли з трьох головних напружень тільки одне не дорівнює нулю. У цьому напруженому стані знаходяться деталі при розтягу, стисканні, чистому згині;

б) плоский (із двома осями) - коли із трьох головних напружень два не дорівнюють нулю. Практично у двохосьовому напруженому стані знаходяться диски, що обертаються, тонкостінні посудини під внутрішнім тиском, стрижні при чистому крученні та при поперечному згині. Вільні від навантажень ділянки поверхонь деталей будь - якої конфігурації завжди знаходяться у двохосьовому напруженому стані;

в) об'ємний (трьохосьовий) - коли всі три головні напруження не дорівнюють нулю (товстостінні труби під внутрішнім тиском, ділянки контакту різних тіл, внутрішні зони масивних деталей).

Після виконання всіх необхідних операцій виконується розрахунок. Окремі фрагменти результатів розрахунку напружень відображаються в дереві задач та показані на рис 4.5 та 4.6.

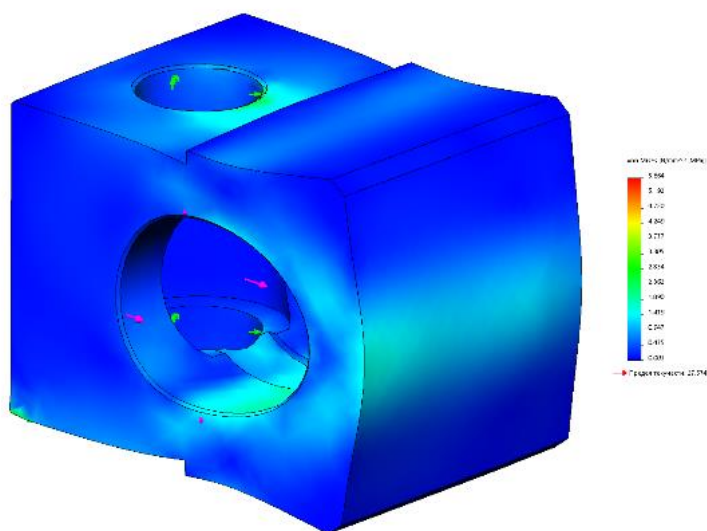


Рисунок 4.5 - Напруження в елементах деталі «корпус»

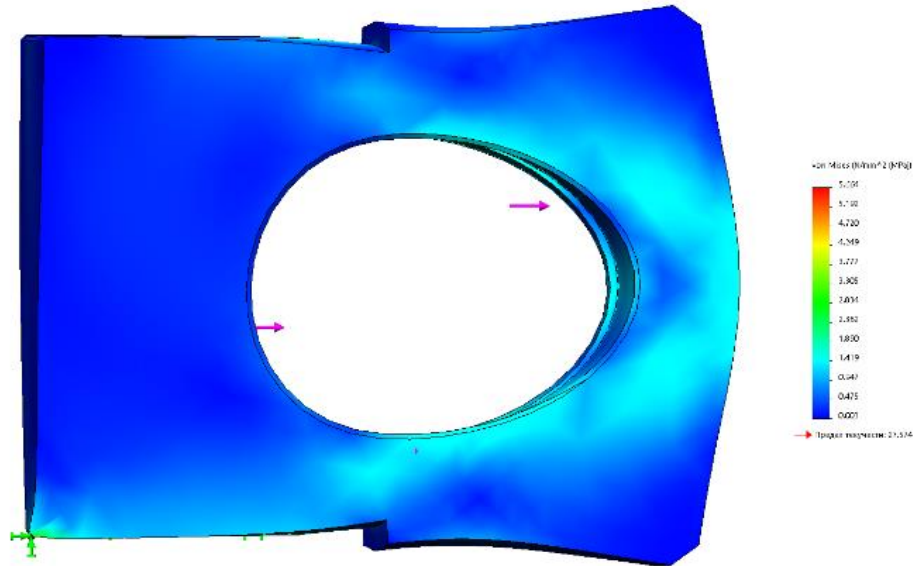


Рисунок 4.6 - Напруження деталі «корпус» (вид з боку)

Надалі проводимо аналіз напружень у елементах деталі. Окремі фрагменти результатів досліджень деформації елементів деталі «корпус» відображаються в дереві задач та показані на рис. 4.7. та 4.8.

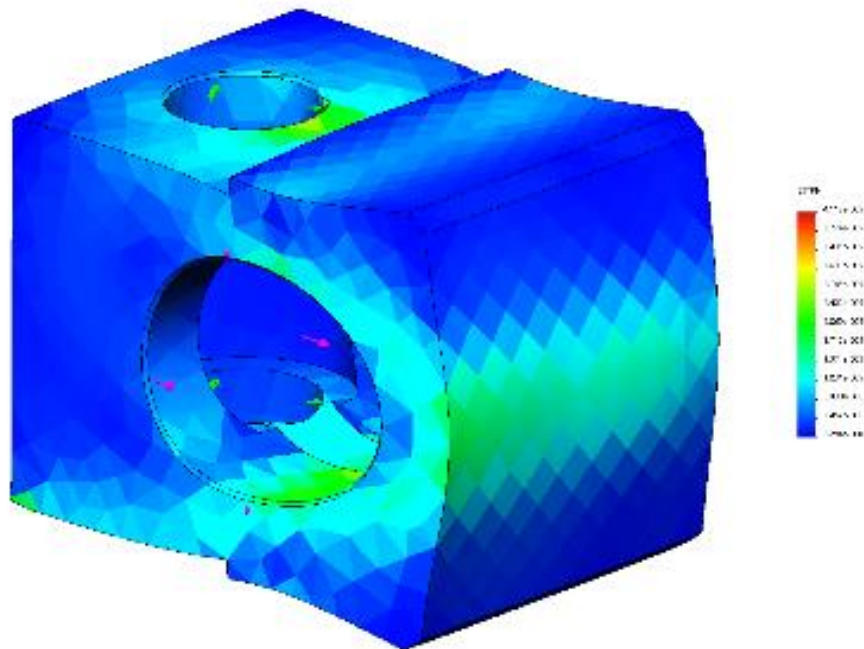


Рисунок 4.7 - Результати аналізу деформації елементів деталі «корпус»

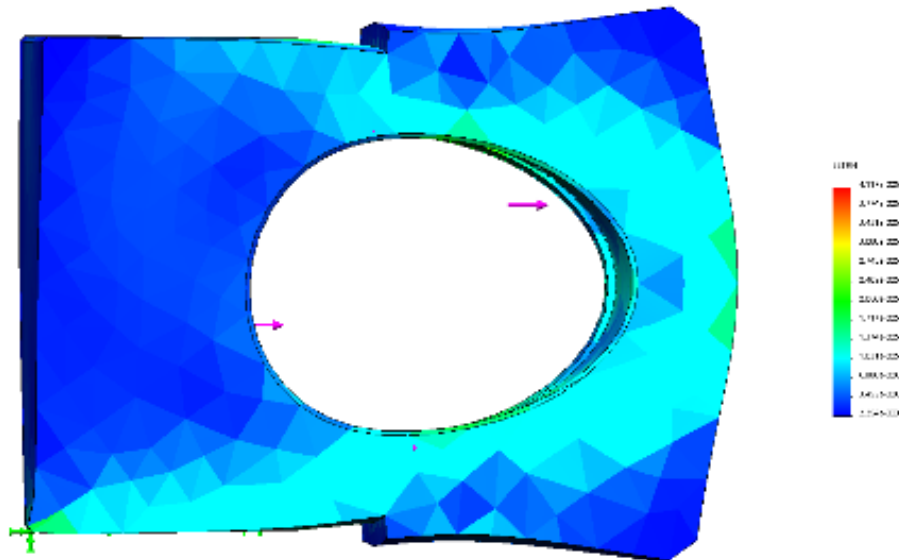


Рисунок 4.8 - Результати аналізу деформації елементів деталі «корпус»
(вид з боку)

4.3 Висновки

Проведено інженерний аналіз переміщень та напружень конструктивних параметрів деталі «корпус» при різних робочих навантаженнях. Встановлено, що деталь «корпус» має достатню жорсткість. Вона буде працювати при робочому навантаженні без значних деформацій елементів деталі, не потребує заміни матеріалу на більш міцний, а також уточнення окремих розмірів та додаткових конструкторських рішень.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Класифікація та призначення засобів захисту

Створення безпечних умов праці на виробництві було і залишається одним з головних пріоритетів. Найбільшою цінністю Держави є людина - це означає, що для кожного конкретного працівника повинні бути створені безпечні умови на виробництві. Безпека праці являє собою сукупність вимог, встановлених законодавчими актами, нормативно-технічними та проектними документами, правилами та інструкціями, виконання яких забезпечує безпечні умови праці і регламентує поведінку працюючого [26-28]. Безпечні умови праці - це стан умов праці, при яких вплив на працюючого небезпечних і шкідливих виробничих факторів виключено або вплив шкідливих виробничих факторів не перевищує гранично допустимих значень. В разі появи небезпеки є можливість завдати шкоду здоров'ю людини, тому потрібно приймати всі необхідні заходи, спрямовані на її ліквідацію. В літературі можна зустріти такі визначення поняття «небезпека»: – небезпека - це негативна властивість живої та неживої матерії, що здатна спричинити шкоду самій матерії: людям, природному середовищу, матеріальним цінностям; – небезпека - це умова чи ситуація, яка існує в навколишньому середовищі і здатна призвести до небажаного вивільнення енергії, що може спричинити фізичну шкоду, поранення та/чи пошкодження. Безпека людини - це поняття, що відображає саму суть людського життя, її ментальні, соціальні і духовні надбання. Безпека людини є невід'ємною складовою характеристики стратегічного напрямку людства, що визначений ООН як «сталій людський розвиток», такий розвиток, який веде не тільки до економічного, а й до соціального, культурного, духовного зростання, що сприяє гуманізації менталітету громадян і збагаченню позитивного загальнолюдського досвіду. Небезпечна зона - це простір, в якому діють постійно або виникають періодично чинники, небезпечні для життя і здоров'я людини. Небезпека локалізована навколо рухомих елементів: ріжучого інструменту, оброблюваних деталей, планшайби,

зубчастих, ремінних та ланцюгових передач, робочих столів верстатів, конвеєрів, що переміщуються підйомно-транспортних машин, вантажів і т.д. Особлива небезпека створюється у випадках, коли можливе захоплення одягу або волосся працюючого рухомими частинами обладнання. Наявність небезпечної зони може бути обумовлено небезпекою враження електричним струмом, впливу теплових, електромагнітних та іонізуючих випромінювань, шуму, вібрації, ультразвуку, шкідливих парів і газів, пилу, можливістю травмування відлітаючими частинками матеріалу заготовки та інструменту при обробці, вильотом оброблюваної деталі з-за поганого її закріплення або поломки. Розміри небезпечної зони в просторі можуть бути постійними (зона між ременем і шківом, зона між вальцями і т.д.) і змінними, (поле прокатних станів, зона різання при зміні режиму та характеру обробки, зміна різального інструменту і т. д.). При проектуванні технологічного устаткування і при його експлуатації необхідно передбачати застосування пристроїв, що або виключають можливість контакту людини з небезпечною зоною, або знижують небезпеку контакту. Засоби захисту працюючих за характером їх застосування поділяються на дві категорії: колективні, індивідуальні [26-28].

Засоби колективного захисту в залежності від призначення поділяються на такі класи:

- 1) нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць;
- 2) нормалізації освітлення виробничих приміщень та робочих місць;
- 3) засоби захисту від випромінювань (іонізуючих, інфрачервоних, електромагнітних та ін.) від впливу механічних, хімічних, біологічних чинників тощо.

Засоби індивідуального захисту в залежності від призначення поділяються на такі класи: ізолюючі костюми, засоби захисту органів дихання, спеціальний одяг, спеціальне взуття, засоби захисту рук, голови, обличчя, очей, органів слуху, засоби захисту від падіння і інші аналогічні засоби, захисні дерматологічні засоби. Всі вживані у виробництві захисні пристрої можна розділити на наступні основні

групи: – охоронні; – запобіжні; – блокуючі; – сигналізуючі; – системи дистанційного керування; спеціальні пристрої (вентиляція, освітлення, глушники шуму, заземлення); – індивідуальні захисні засоби. Загальні вимоги до засобів захисту:

- 1) створення оптимальних умов для трудової діяльності;
- 2) максимальне зниження небезпек і шкідливостей на робочих місцях, тобто високий рівень захисту;
- 3) облік індивідуальних особливостей устаткування, інструменту, пристосувань або технологічних процесів;
- 4) надійність, міцність, зручність обслуговування машин і механізмів в цілому, включаючи засоби захисту, врахування рекомендацій технічної естетики.

Захисні пристрої - засоби захисту, що перешкоджають попаданню людини в небезпечну зону. Захисні пристрої: стаціонарні (незнімні); рухомі (знімні), переносні. Застосовуються для ізоляції систем привода машин, зон обробки деталей, зон інтенсивного випромінювання, виділення шкідливих речовин. Конструктивно вирішення цього питання залежить від різновиду устаткування, місця роботи працівника, специфіки шкідливих виробничих факторів, що супроводжують технологічний процес [26-28].

5.2 Техніка безпеки при налагоджуванні, експлуатації верстатів з ЧПК мод.VF-3

Безпека праці на металорізальних верстатах досягається виконанням вимог безпеки по ГОСТ 12.2.009-80, а також деякими конкретизованими вимогами, що наведені нижче.

Заходи безпеки для обслуговуючого персоналу.

До роботи на верстаті допускаються особи, що знайомі з його будовою, правилами експлуатації, пройшли інструктаж з техніки безпеки, а також ознайомлені з експлуатаційною документацією, яка входить в комплект документації верстата.

До стропування верстата та його складових частин допускаються особи, що вивчали правила стропування, мають посвідчення на право виконання цих робіт та пройшли відповідний інструктаж з техніки безпеки.

При стропуванні накопичувача та інструментального магазину необхідно врахувати неврівноваженість вузлів.

Всі роботи, які пов'язані з наладкою електрообладнання виконують тільки спеціалісти з електрообладнання.

Заходи безпеки при транспортуванні та установці верстата

Транспортування, установка, монтаж верстата здійснюється згідно вимог відповідних розділів "Керівництва по експлуатації верстата".

Для стропування використовуються спеціальні рим-болти.

Установка верстата використовується тільки із застосуванням спеціальних вантажних механізмів.

При установці деталей масою більше 16кг, необхідно підкладати під них дерев'яні підкладки.

Заходи безпеки при підготовці верстата до роботи.

Необхідно перевірити наявність та справність:

- 1) захисних механізмів та огорожень робочих органів;
- 2) попереджувальних механізмів для захисту від стружки та МОР;
- 3) різального та допоміжного інструментів;
- 4) роботи блокувальних пристроїв.

Заходи безпеки при роботі верстата.

Не допускається знаходитися стороннім особам в зоні роботи системи.

Забороняється:

- 1) перевищувати номінальну потужність;
- 2) проводити контроль деталей, ручну заміну інструментів, ручне вилучення стружки, ремонт несправностей при ввімкненому верстаті;
- 3) використовувати в якості МОР бензин, керосин тощо;
- 4) прибирати верстат стисненим повітрям.

Враховувати рекомендації по відповідній довжині інструмента та його максимальному діаметру.

Передбачене блокування випадання інструмента, перевантаження верстата, самовільного опускання шпиндельної бабки, перебігів рухомих вузлів.

Вмикання обертів шпинделя в автоматичному режимі можливе тільки після кінцевого закріплення інструмента в шпинделі та його наявності при справній цанзі. Реле тиску в магістралі гідроциліндра вимикає верстат при поданні тиску в гідросистемі.

При вимиканні шпиндель автоматично гальмується. Рухомі вузли верстата, що розташовані поза закритим габаритом верстата, пофарбовані в жовтий колір.

На верстаті передбачено захисні пристрої від попадання стружки та МОР на оператора. Забезпечена надійність захисту інструмента в шпинделі після раптового припинення подачі електроенергії.

Заходи безпеки при перевірці технічного стану верстату.

Шумові характеристики перевіряють у відповідності з ГОСТ 12.2.107-85.

Якщо при перевірці порушена плавність роботи верстата; проходять заклинювання; з'являється сторонній шум та стук в вузлах та гідросистемі; проходить підвищене нагрівання електрообладнання, не спрацювання блокування, відмовлення роботи кінцевих вимикачів тощо, то роботу на верстаті припиняють, вимикають електрообладнання верстата.

Заходи безпеки при ремонтних роботах.

Всі види ремонтних робіт проводити тільки при вимкненому електрообладнанні. На верстаті вивішуються плакати "Не вмикати. Працюють люди!" або "Не вмикати - ремонт!".

Ремонтні роботи проводити справним інструментом. При ремонті гідрообладнання впевнитись у відсутності тиску масла в магістралі. Заборонено проводити ремонт (регулювання) привода подачі при піднятій шпиндельній бабці.

5.3 Розрахунок заземлення верстатів з ЧПК мод. VF-3

Розраховуємо пристрій захисного виробничого заземлення, яке складається із з'єднаних між собою горизонтальною сталюю стрічкою і заглиблених у землю вертикальних заземлювачів (рис. 5.1) [26, 27].

Вихідні дані:

- 1) заземлювач - кутникова сталь довжиною $l = 2,5$ м і шириною $b = 0,06$ м;
- 2) ширина сталюї горизонтальної полоси $b = 0,06$ м;
- 3) питомий опір ґрунту $\rho = 150$ Ом·м;
- 4) розміщення заземлювачів - у ряд;
- 5) глибина закладки полоси - $h = 0,95$ м;

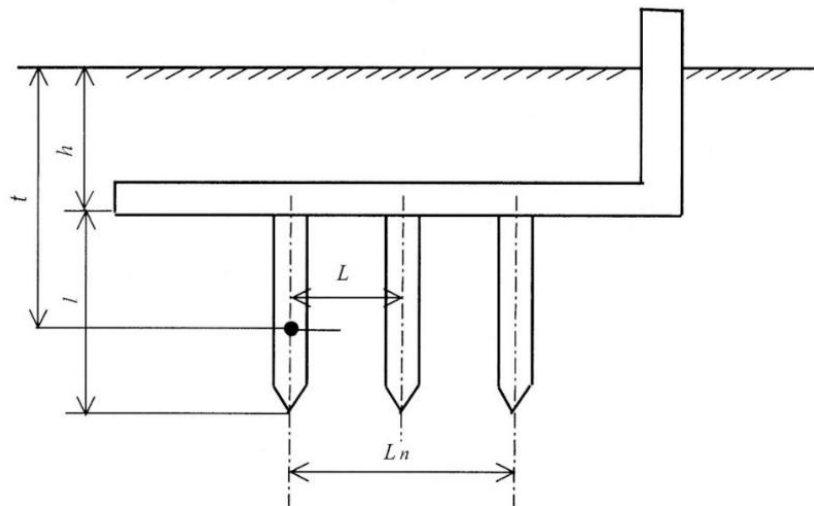


Рисунок 5.1- Схема розміщення заземлювачів

Визначаємо опір розтікання електричного струму від одиночного вертикального заземлювача:

$$R_1 = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{\alpha} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right);$$

де t - глибина до середини вертикального заземлювача, м;

$$t = h + \frac{l}{2} = 0,95 + \frac{2,5}{2} = 2,2 \text{ м};$$

$$\alpha = 0,95 \cdot b = 0,95 \cdot 0,06 = 0,057 \text{ м};$$

Отже,

$$R_1 = 0,366 \frac{150}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,5}{0,057} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 2,5}{4 \cdot 2,2 - 2,5} \right) = 49,44 \text{ Ом}$$

Так як величина E , перевищує максимально допустиму величину опору розтіканню електричного струму всієї системи захисного заземлення ($R_d = 4 \text{ Ом}$), то визначаємо кількість вертикальних заземлювачів цієї системи заземлення.

Попередньо кількість вертикальних заземлювачів визначаємо за формулою:

$$n \geq \frac{R_1}{2 \cdot R_d} = \frac{49,44}{2 \cdot 4} = 6,18, \text{ приймаємо } n = 6$$

Виходячи із величини n , визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів:

$$\eta_e = 0,74$$

Визначаємо загальний опір розтікання електричного струму усіх вертикальних заземлювачів

$$R_e = \frac{R_1}{n \cdot \eta_e} = \frac{49,44}{6 \cdot 0,74} = 9,5 \text{ Ом}$$

Визначаємо довжину полоси, яка з'єднає вертикальні заземлювачі

$$i = 1,05 \cdot L(n-1),$$

де L - віддаль між двома сусідніми вертикальними заземлювачами, м;

$$L = 3 \cdot l = 3 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ м.}$$

Тоді $i = 1,05 \cdot 7,5(7-1) = 47,25 \text{ м.}$

Визначаємо опір розтікання електричного струму з'єднувальної полоси

$$R_n = 0,366 \frac{\rho}{l_n} \lg \frac{2 \cdot l_n^2}{b_n h} = 0,366 \frac{150}{47,25} \cdot \lg \frac{2 \cdot 47,25^2}{0,06 \cdot 0,95} = 5,68 \text{ Ом.}$$

Визначаємо загальний розрахунковий опір розтікання електричного струму, який виникає у системі захисного заземлення:

$$R_p = \frac{R_e R_n}{R_e \eta_n + R_n}; \quad (5.6)$$

де η_n - коефіцієнт використання полоси, який враховує взаємне екранування полоси і з'єднаних нею вертикальних заземлювачів, $\eta_n = 0,88$.

Отже,

$$R_p = \frac{12,85 \cdot 5,68}{12,85 \cdot 0,88 + 5,68} = 3,29 \text{ Ом.}$$

Висновок: оскільки умова $R_p < R_0 - 3,29 < 4$, отже даний пристрій виконується та відповідає правилам улаштування електрообладнання (ПУЕ).

5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайна ситуація (НС) - стан, при якому в результаті виникнення джерела надзвичайної ситуації на об'єкті, визначеній території порушуються нормальні умови життя і діяльності людей, виникає загроза життю і здоров'ю, завдається шкода населенню, народному господарству, навколишньому природному середовищу [28].

За характером джерел виникнення НС діляться на:

- 1) природні явища і процеси;
- 2) техногенні промислові аварії і катастрофи (радіаційні, хімічні, біологічні, гідродинамічні аварії);
- 3) пожежі, вибухи, небезпечні пригоди на транспорті або транспортні аварії;
- 4) інфекційні хвороби людей (епідемії);
- 5) криміногенні.

Осередком ураження - називається територія з розташованими на ній будівлями, спорудами, інженерними мережами, комунікаціями, обладнанням і людьми, які постраждали від руйнування або зараження в результаті виникнення НС.

Безпека в НС - стан захищеності населення. Захищеність в НС - стан, при якому запобігають, долають або гранично знижують негативні наслідки виникнення потенційних небезпек при НС для людей. Одним з основних способів захисту є своєчасний і швидкий вивіз людей з небезпечної зони, тобто евакуація.

Вид евакуації визначається видом, характером і умовами НС. Екстрена евакуація викликається швидкоплинними накопиченнями негативних факторів в зоні НС або від самого початку високими рівнями цих факторів.

У числі заходів щодо захисту персоналу підприємства, які розробляються об'єктовою комісією, вказуються дії по евакуації, як при загрозі так і при виникненні НС. Питання евакуації для вивчення включаються в тематику занять робітниками-ми і службовцями в системі цивільної оборони. З урахуванням аналізу визначається вид евакуації, проводиться розрахунок службовців і робітників, встановлюються заходи щодо безаварійної зупинки виробництва, намічаються схеми руху евакуйованих із зони НС до пунктів тимчасового розміщення.

Керівник об'єктової комісії з НС приймає одне з рішень:

- 1) провести евакуацію всередині цеху;
- 2) вивести персонал за межі об'єкта;
- 3) застосувати комбінований метод.

У зв'язку з можливістю загорання, вибуху газових балонів або виникнення НС іншої категорії. У цеху повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння:

- 1) ящики з піском;
- 2) пожежні відра;
- 3) лопати;
- 4) пожежний інструмент (лом, сокира);
- 5) вогнегасники.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 планування будівель і споруд повинні забезпечувати швидку евакуацію людей у разі виникнення пожежі.

5.5 Висновок

В розділі «Охорона праці» приведено класифікацію та призначення засобів захисту. Розглянуті питання техніки безпеки при налагоджуванні та експлуатації верстатів з ЧПК мод. VF-3 виробництва. Розроблені заходи для забезпечення безпечних умов праці та електробезпеки на дільниці. Виконано розрахунок заземлення верстатів з ЧПК. Визначено заходи в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішені завдання щодо удосконалення технології механічного оброблення деталі «корпус» з використанням верстату з ЧПК.

В загальному розділі дипломної роботи проаналізовано призначення, конструкцію та технічні вимоги на об'єкт виробництва. Визначено тип виробництва та ступінь технологічності деталі «корпус». Проаналізовано сучасні досягнення та шляхи удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «корпус», визначено перспективне обладнання з ЧПК фірми HAAS (США) та сучасний різальний інструмент.

В технологічному розділі проведено обґрунтування технологічних параметрів процесу механічної обробки деталі «корпус», вибрано обладнання та різальний інструмент, розраховано припуски на обробку, розраховано режими різання. На основі проведених розрахунків, розроблено вдосконалений технологічний процес виготовлення деталі «корпус» із застосуванням верстату HAAS VF-3.

В конструкторському розділі виконано проектування технологічного оснащення. Розроблено конструкції пристосувань для виконання операції механічного оброблення на верстаті з ЧПК VF-3 та проведені необхідні розрахунки. Виконано проектування контрольного пристрою та проведено розрахунок його на точність. Спроектовано різальний інструмент - фрезу кінцеву збірну із пластинами твердого сплаву.

В дослідному розділі приведені результати інженерних досліджень з використанням COLIDWORKS Simulation. Встановлено, що деталь «корпус» має достатню жорсткість. Вона буде працювати при робочому навантаженні без значних деформацій елементів деталі, не потребує заміни матеріалу на більш міцний, а також уточнення окремих розмірів та додаткових конструкторських рішень.

В розділі «Охорона праці» приведено класифікацію та призначення засобів захисту. Розглянуті питання техніки безпеки при налагоджуванні та експлуатації верстатів з ЧПК мод. VF-3 виробництва групи компаній HAAS. Розроблені заходи для забезпечення безпечних умов праці та електробезпеки на дільниці. Виконано розрахунок заземлення верстатів з ЧПК. Визначено заходи у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи технології виробництва машин: навчальний посібник / Г. П. Кремнев, В. М. Колеснік, Ф. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх. Дніпро: ЛІРА, 2022. 136 с.
2. Ковочные сплавы АК6 и АК8 [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://www.metallalloy.info/17spr_alum.php.
3. Особенности обработки алюминия на станках с ЧПУ [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://vektor.us.ru/blog/rezhimy-obrabotki-alyuminiya-na-chpu.html>.
4. GARANT. Справочник по обработке резанием. Вилучено із: www.garanttools.com.
5. <https://zccct.com.ua/>.
6. <https://sandvik.coromant.com/>
7. Офіційний сайт групи компаній HAAS [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.HaasCNC.com.
8. Горбачев А. Ф., Шкред. В. А. «Курсовое проектирование по технологии машиностроения». - М.: Минск, 1983.
9. Григурко І. О. та ін. Технологія машинобудування. Дипломне проектування: Навч. посібник для ВНЗ / Григурко І.О., Брендуля М.Ф., Доценко С.М. - Львів: Новий Світ - 2008.- 767 с.
10. Косилова А. Г., Мещерякова Р. К. «Справочник технолога-машиностроителя» Машиностроение В 2-х томах, Том 1, 4-е издание, 1986 год, 656 стр.
11. Косилова А. Г., Мещерякова Р. К. «Справочник технолога-машиностроителя» Машиностроение В 2-х томах, Том 1, 4-е издание, 1986 год, 656 стр.
12. Панов А.А, Аникин В.В., Бойм Н.Г. и др. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / под общ. ред. А.А. Панова. Москва: Машиностроение. 2004. 782 с.

13. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. - Львів: Новий світ- 2000, 2010. - 422 с.
14. Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. Посібник для практичного програмування верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] -Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. - 115 с.
15. Жовтобрюх В. А. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ: монография / В. А. Жовтобрюх, Ф. В. Новиков. - Днепр: ЛИРА, 2019. – 480 с.
16. <http://www.camworks.com/>
17. <https://www.cimco-software.ru/software/cimco-edit/overview/>
18. Сторож Б.Д. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва / За ред. Р.Т. Карпика, Івано- Франківськ / Б.Д. Сторож, Р.Т. Карпик, А.І. Гордєєв. - Хмельницький, 2004. - 253 с.
19. Гордєєв А.І. Збірник задач з проектування технологічного оснащення: Навчальний посібник / А.І. Гордєєв, Є.А. Урбанюк, Р.С.Сілін - Хмельницький: ХНУ 2013. - 159 с.
20. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої. Навчальний посібник. - К.: Кондор, 2009. - 220 с.
21. Гордєєв А.І. Технологія машинобудування та металорізальні верстати. Курсове та дипломне проектування /Гордєєв А.І.,Урбанюк Є.А., Безносів А.Є., Мігель В.Г.- Хмельницький, 2005. -300 с.
22. В. А. Аршинов. «Резание металлов и режущий инструмент». - М.: Машиностроение, 1975.
23. SolidWorks® 2011. Основные элементы SolidWorks. Dassault Systemes SolidWorks Corporation 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 USA.
24. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с.

25. Зиновьев Д. В. Основы моделирования в SolidWorks.- М.: ДМК Пресс, 2017 -240с.

26. Охорона праці. Методичні вказівки до виконання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах студентів спеціальності “Інженерна механіка” та “Машинобудування”/ А.А.Нестер, К.А. Паршенко - Хмельницький: ХНУ - 2009.

27. Охорона праці та безпека життєдіяльності: Лабораторний практикум. Навчальний посібник / В.А. Кирилков, А.А. Нестер, І.І. Ковтун, В.В. Мисліборський. - Хмельницький: ХНУ, 2011. - 137 с.

28. Основы охраны труда: учебник / М. С. Одарченко, А. М. Одарченко, В. І. Степанов, Я. М. Черненко. - Х.: Стиль- Издат, 2017. - 334 с.